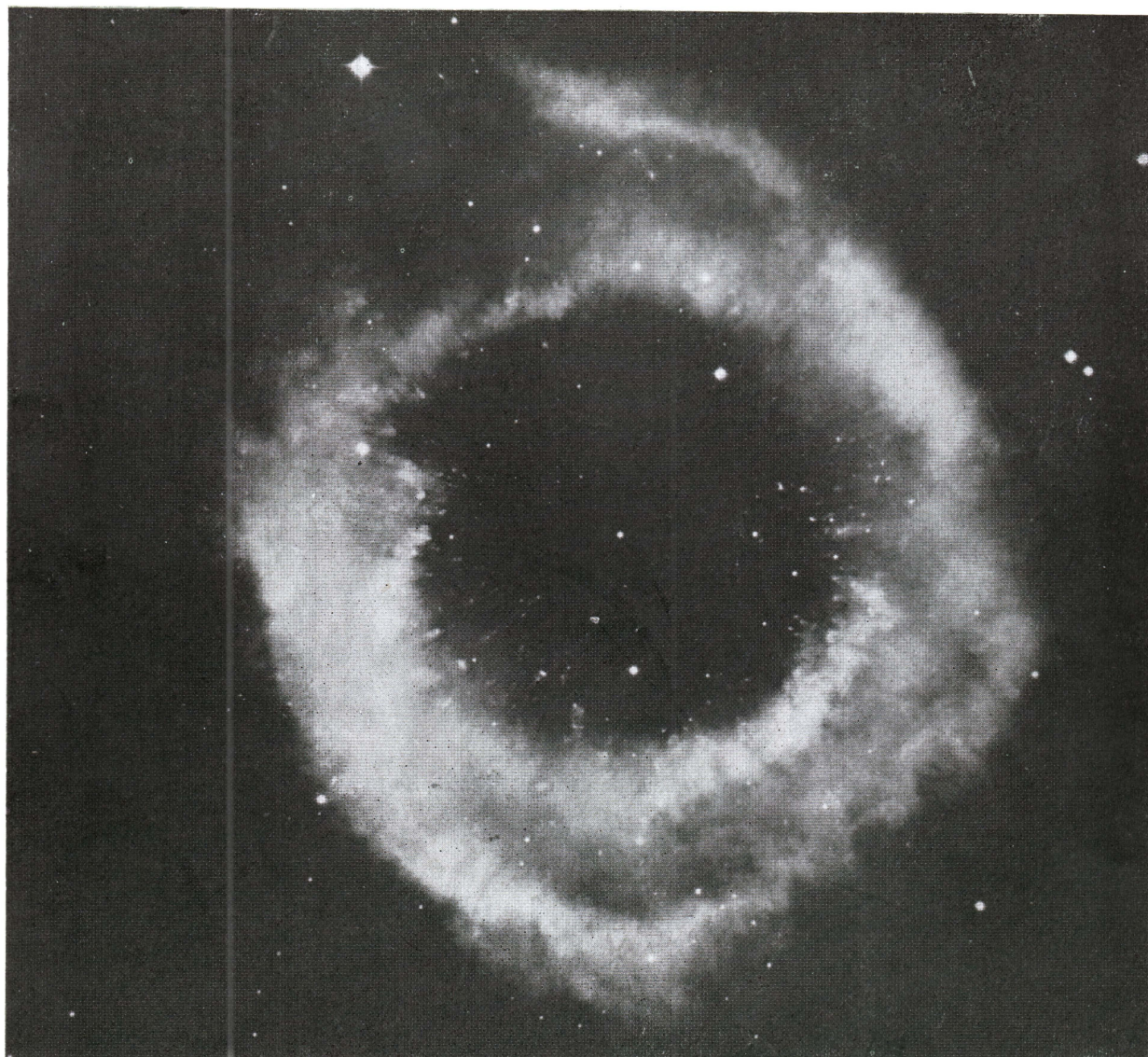




ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

4

1 9 6 9

АСТРОНОМИЯ

ГЕОФИЗИКА

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА



Американские космонавты — Эдвин Олдрин, Майкл Коллинз и Нейл Армстронг

Люди Земли на Луне

Произошло событие, которое история освоения космического пространства увековечит наряду с запуском первого искусственного спутника Земли, первым полетом Юрия Гагарина, первым выходом Алексея Леонова в открытый космос, первыми полетами автоматических станций к Луне, Венере, Марсу. 21 июля 1969 года в 5 часов 56 минут по московскому времени командир американского космического корабля «Аполлон-11» Нейл Армстронг впервые ступил на поверхность Луны. Через 19 минут к нему присоединился Эдвин Олдрин. На окололунной орбите в командном отсеке корабля находился третий член экипажа «Аполлона-11» Майкл Коллинз.

Армстронг и Олдрин довольно быстро освоились с особенностями передвижения на Луне, собрали образцы пород лунного грунта, установили научные приборы [лазерный радарный рефлектор, который позволяет измерить с точностью до 15 см расстояние между

земными пунктами и поверхностью Луны; сейсмограф для регистрации колебаний коры Луны]; они провели телевизионные передачи, позволившие жителям разных континентов нашей планеты наблюдать за работой космонавтов на Луне. Вне кабины лунного отсека «Аполлона-11» Армстронг и Олдрин находились более двух часов.

24 июля 1969 года в 19 часов 50 минут «Аполлон-11» точно по расписанию прибыл на Землю.

Председатель Президиума Верховного Совета СССР Н. В. Подгорный поздравил президента США Ричарда М. Никсона с успешным завершением выдающегося полета космического корабля «Аполлон-11», высадкой на Луне и благополучным возвращением на Землю американских космонавтов. Товарищ Н. В. Подгорный передал наши поздравления и наилучшие пожелания мужественным космическим пилотам Нейлу Армстронгу, Эдвину Олдрину и Майклу Коллинзу.

ЗЕМЛЯ и ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1965 году

Выходит 6 раз в год



ИЮЛЬ — АВГУСТ

4 1969

Издательство «Наука»
Москва

В номере

Ю. В. Ризниченко — «Почему сейсмология!»	2
Ю. А. Рябов — Астродинамические особенности полета на трассе Земля — Луна — Земля	12
И. Ибен — Звездная эволюция	19
Б. В. Комберг — Странности в спектрах квазаров	27
Н. А. Марова — Подводный облик океана	32
В. П. Архипова — Планетарные туманности	39
И. В. Кириллова — Сильные землетрясения Турции и их геологическое значение	48

ЛЮДИ НАУКИ

Павел Иванович Попов	55
----------------------	----

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

В. В. Шевченко — Физика поверхностного слоя Луны	57
Е. К. Страут — Пленум Центрального совета ВАГО в Свердловске	62

ОБСЕРВАТОРИИ И ИНСТИТУТЫ

Г. К. Сулаквелидзе — Институт града и лавин	66
---	----

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Н. П. Грушинский — Подготовка астрономов в системе университетского образования	76
---	----

НАРОДНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ И ПЛАНЕТАРИИ

Г. Д. Туев — Уфимская учебная обсерватория «Юность»	79
---	----

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

Н. Н. Михельсон — Любителям астрономии — о телескопах. VI	83
А. Г. Чукарев — Телескоп-рефрактор из готовых деталей	87
Странички наблюдателя	89

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

Ж. Ф. Родионова — Луна, уменьшенная в миллион раз	93
---	----

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Новое об атмосфере Венеры [11]; Полет «Аполлона-9» [17]; Полет «Аполлона-10» [17]; Межзвездный аммиак [30]; Алмазы в межзвездном пространстве [31]; Руслы лунных рек [31]; В атмосфере Марса — ледяные кристаллики [45]; Вечная мерзлота на Марсе [45]; Фотографии поверхности Марса [46]; Горы Кавказа — множество разнообразных складок [64]; Меч-рыба атакует батискаф [74].

На обложке: 1-я стр. — Гигантская планетарная туманность в созвездии Водолея (к ст. В. П. Архиповой).

4-я стр. — Склон ущелья реки Кара-Койсу в Дагестане. Складки в породах мелового и юрского возраста разрезаны рекой. Высота склона 1,5 км (к заметке на стр. 64).

«ПОЧЕМУ»

Известный советский сейсмолог знакомит читателей с самыми разными геофизическими методами изучения Земли. Автор избрал способ сравнения этих методов по единому, присущему им всем, свойству — разрешающей способности.

В семье физических методов изучения земных недр: гравитационный, магнитный, электрический, сейсмический, термический, разные электромагнитные и ядерные методы — сейсмический метод занимает, как будто, какое-то привилегированное положение. В самом деле, сейсмические исследования привлекают к себе больше людей, на них тратятся большие средства, о них больше пишут и говорят, на них больше ссылаются при исследованиях Земли не только геофизическими, но и геологическими, геохимическими и некоторыми другими методами. Даже международная геофизическая ассоциация по изучению твердой Земли называется «Ассоциация сейсмологии и физики недр Земли».

Почему это? Откуда такое неравноправие? Ведь другим геофизическим методам может быть «обидно»! В этом можно заподозрить несправедливость. Быть может, если подойти более внимательно, то пришлось бы отдать предпочтение какому-нибудь другому из них. А может быть, вопрос «кто нужнее, кто важнее» здесь просто неуместен, неправилен: ни один из методов не заменит любой другой, и нам достаточно удовлетворяться классической формулой, которую по аналогичному поводу дал Сергей Михалков:

«Мамы разные нужны,
Мамы всякие важны».

Да, в этом есть правда. Сейсмическим методом не изучишь, например, теплового баланса Земли, не определишь электрических или магнитных свойств слагающего ее материала. Вопрос о том, какой из методов важнее или какой из них сильнее, кажется здесь почти абсурдным. И все-таки...

И все-таки в нем что-то есть. От него нельзя просто отмахнуться. Как и в случае

«михалковских мам», его сначала надо обсудить.

Постараемся взглянуть глубже: каково соотношение между этими «мамами» в нашем геофизическом обществе? От кого какая польза обществу? Кому больше дано и с кого больше должно спрашивать? Кто сделал бы больше, если бы каждому были созданы в равной степени самые благоприятные условия?

Но довольно вопросов. Перейдем к ответам.

Мне придется говорить здесь о некоторых очень простых и ясных вещах. Впрочем, повидимому, ясных не для всех, так как они время от времени вызывают жаркие дискуссии, и особенно в последние годы. Я не ожидаю, что после дальнейших моих разъяснений дискуссии прекратятся. Может быть даже наоборот. Ну, что ж, давайте поспорим. В споре рождается истина.

На распределение объемов работ между разными методами геофизики влияют не только научно-организационная политика разных лиц и учреждений, возможности финансирования, напористость и личные способности тех или иных работников и другие подобные житейские обстоятельства, но и объективные возможности разных методов в решении задач, которые ставятся перед нами, геофизиками, наукой и практикой.

Правда, возможности, известные нам сейчас, не совпадают с теми принципиально неисчерпаемыми, хотя и ограниченными возможностями, которые заложены в используемые процессы и изучаемые явления самой природой. Ход познания продолжает-

СЕЙСМОЛОГИЯ?»

Ю. В. РИЗНИЧЕНКО
член-корреспондент АН СССР

ся, горизонты раскрываются все шире, но мы знаем, что чудес не бывает, и чтобы завтра не оказаться на ложном пути, следует исходить из того, что нам хорошо известно уже сегодня. Конечно, в будущем, когда появятся новые знания, возможность переоценки не исключена. Но это уже другой вопрос.

Одна из главных и почетнейших задач геофизики — изучение внутреннего строения Земли. Эта задача, естественно, не охватывает всего содержания геофизических исследований. Другая, не менее почетная задача — изучение глубинных процессов в Земле: выяснение ее происхождения, современной жизни и дальнейшей судьбы. Есть и другие. Но уже и одна первая задача достаточно обща и характерна для всей геофизики. К тому же она является, пожалуй, основной, первоначальной, базовой, которая обуславливает все дальнейшие возможности геофизики в деле разностороннего познания нашей планеты. Человек, и даже все человечество, живет по сравнению с Землей очень недолго — как бы один момент. И обо всей истории Земли нам приходится судить в большей мере на основании того, что она собой представляет сейчас.

К обсуждению именно этой задачи — о строении — нас привлекает то, что на таком фоне легче сравнивать относительные возможности разных геофизических методов в выполнении общего дела. Ведь любое сравнение возможно только по общим показателям. При отсутствии этого вместо сравнения получилось бы плоское сопоставление разных вещей.

Сравнивать же разные геофизические ме-

тоды мы можем и будем по единому, присущему всем им в какой-то мере свойству — их разрешающей способности, по их возможностям охвата и описания общего объекта со все возрастающей детальностью и точностью.

Мы будем говорить здесь, в основном, о методах общей геофизики, относящейся к исследованиям Земли в целом или, по крайней мере, на достаточно большую глубину. Но будем принимать во внимание и опыт методов разведочной геофизики, с помощью которых изучают лишь сравнительно тонкий приповерхностный слой нашей планеты. Чуть ли не все разведочные методы имеют среди общих методов свои аналоги, и между ними сохраняется теснейшая связь. Реальные возможности разведочных методов, в частности, их разрешающая способность, довольно хорошо выяснены на практике посредством бурения, так что это знание может быть, в известной мере, перенесено на соответствующие методы общей геофизики. А ведь именно практика — критерий истины, а народнохозяйственная практика — чуть ли не самый веский и убедительный критерий.

Чтобы сделать понятным дальнейшее, нам придется сперва дать лучше почувствовать, что такое разрешающая способность, чем она определяется, на какие дискриминирующие (различающие) факторы она опирается.

Обратимся к примерам из физики и техники. Пожалуй, самый обычный и наглядный пример — микроскоп. Известно, что увеличение микроскопа, позволяющее различать все более мелкие детали объекта, не

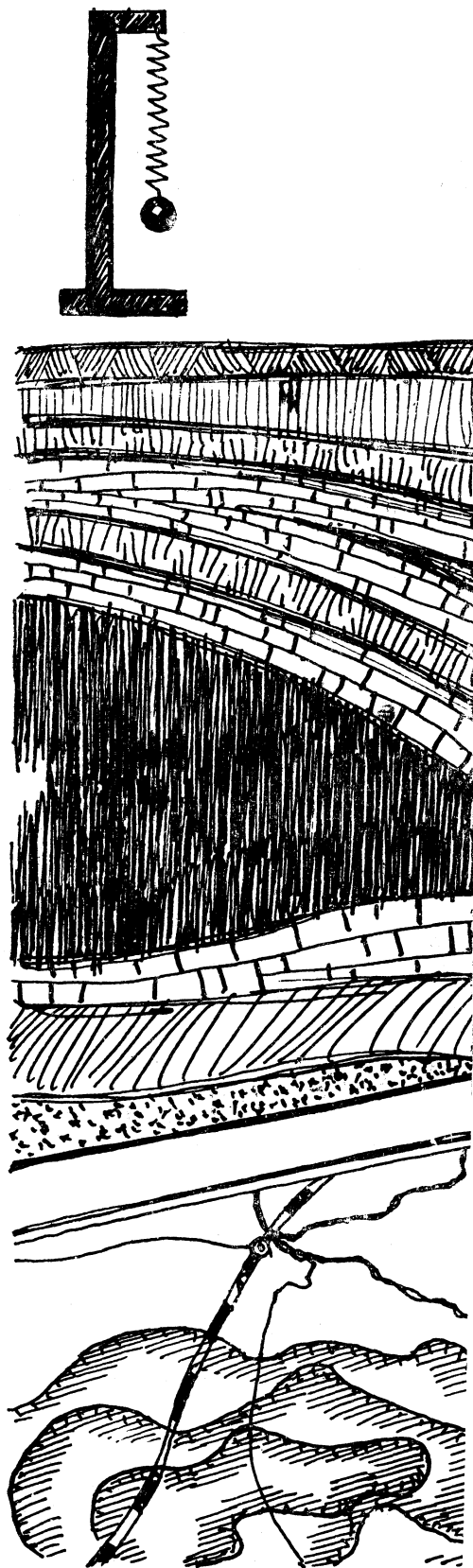
может быть бесконечно большим. Предел достижимой степени разрешенности картины, или малости еще различимой детали, устанавливается длиной световой волны и, соответственно, частотой световых колебаний. Детали объекта, меньшие длины волны, свободно огибаются ею; миновав объект или отразившись от него, волна затем смыкается и не доносит до наблюдателя сведений о том, что эта деталь существует. Поэтому в фиолетовом — высокочастотном, коротковолновом свете разрешающая способность микроскопа выше, чем в низкочастотном, длинноволновом. Еще выше она в электронном микроскопе: электроны соответствуют более коротким волнам, чем кванты видимого света.

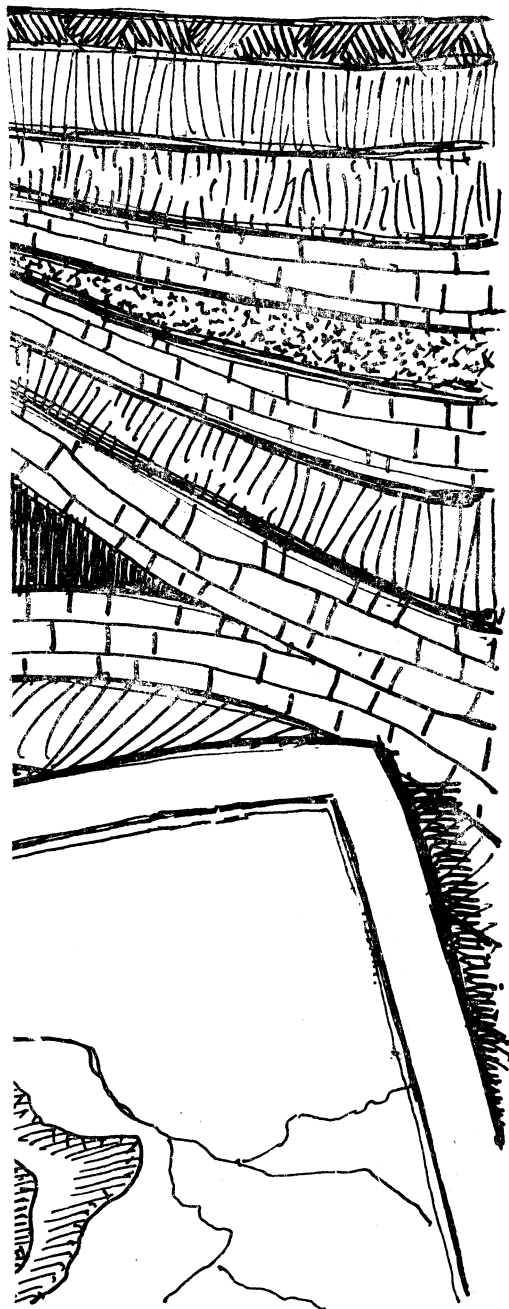
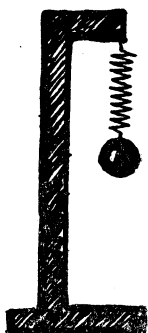
Свет, которым мы пользуемся в микроскопе, можно считать представленным бесконечной последовательностью синусоидальных колебаний различной частоты. Если свет монохроматичный, то различать детали в поле зрения микроскопа мы можем по интенсивности света. Если освещение белое, то можно видеть детали в натуральных цветах и различать их не только по интенсивности, но и по окраске — частоте колебаний. Вместо этого мы могли бы рассмотреть серию монохроматичных изображений предмета, полученных в разных длинах волн, при разных частотах.

Так или иначе, в данном случае для различения деталей мы пользуемся двумя различающими факторами, дискриминаторами: интенсивностью эффекта (света, звука и т. п.) и частотой колебаний. Детали различаются по контрасту интенсивности и по частоте колебаний (цвет), а разрешающая способность определяется частотой колебаний или длиной волны.

Подобное положение существует не только для света, но и для звука, и вообще для упругих колебаний и волн, которые используются, в частности, в сейсмике и в меньшей мере — в гравиметрии. Но об этом позже. Между прочим, — и это относится опять-таки к физике и технике, а не к геофизике — известен даже звуковой, точнее, ультразвуковой микроскоп, разрешающая способность которого зависит от тех же обстоятельств, что и светового.

Другим характерным примером из физики и техники являются импульсные радио- и ультразвуковой локаторы: радар и сонар. Вместо непрерывной последовательности синусоидальных колебаний, эти устройства посылают и принимают после отражения от объекта колебательные импульсы, заполнен-





ные определенной частотой и разделенные друг от друга довольно большими промежутками покоя. Если разыскиваемые «детали», например самолеты или подводные лодки, находятся на разных расстояниях от лоатора, то отраженные сигналы от них приходят одновременно, не накладываясь друг на друга, что позволяет их различать. Таким образом, здесь появляется новый важный дискриминатор — время.

Кроме того, при такой локации используется еще один дискриминатор — направленность волнового пучка. Это вполне аналогично тому, чем пользуются светотехники в обычном прожекторе, а астрономы — в радиотелескопе. Но в последних двух случаях время как дискриминатор не присутствует.

В принципе, те же дискриминаторы могут использоваться в лазерных устройствах, которые начинают применяться для наземных и космических связей, например для изучения деталей строения лунной поверхности. Большие возможности лазеров в отношении разрешающей способности, по сравнению с другими радиотехническими устройствами, связаны опять-таки с тем, что в лазерах используются более короткие (световые) волны.

На том же импульсном локационном принципе основаны ультразвуковые дефектоскопы и сейсмоскопы (и, как мы увидим, сейсмический метод вообще). Дискриминаторами при их работе являются или могут являться: интенсивность эффекта, частота колебаний, направленность, время — полный набор дискриминаторов.

Те же дискриминаторы в различных комбинациях используются и в геофизических методах изучения строения нашей планеты. Посмотрим, к каким относительным возможностям разных методов это приводит.

Начнем обсуждение с гравиметрии. Особенность этого метода — интегральный характер исследуемого эффекта. На точку наблюдения действуют одновременно все окружающие ее массы, хотя с расстоянием эффект уменьшается.

В простейшем статическом случае, рассматриваемом в гравитационной разведке, дискриминация эффектов по времени полностью отсутствует. Нет дискриминации и по частоте изменения поля со временем — в статике она только нулевая. В результате, подлежит изучению только одна скалярная ха-

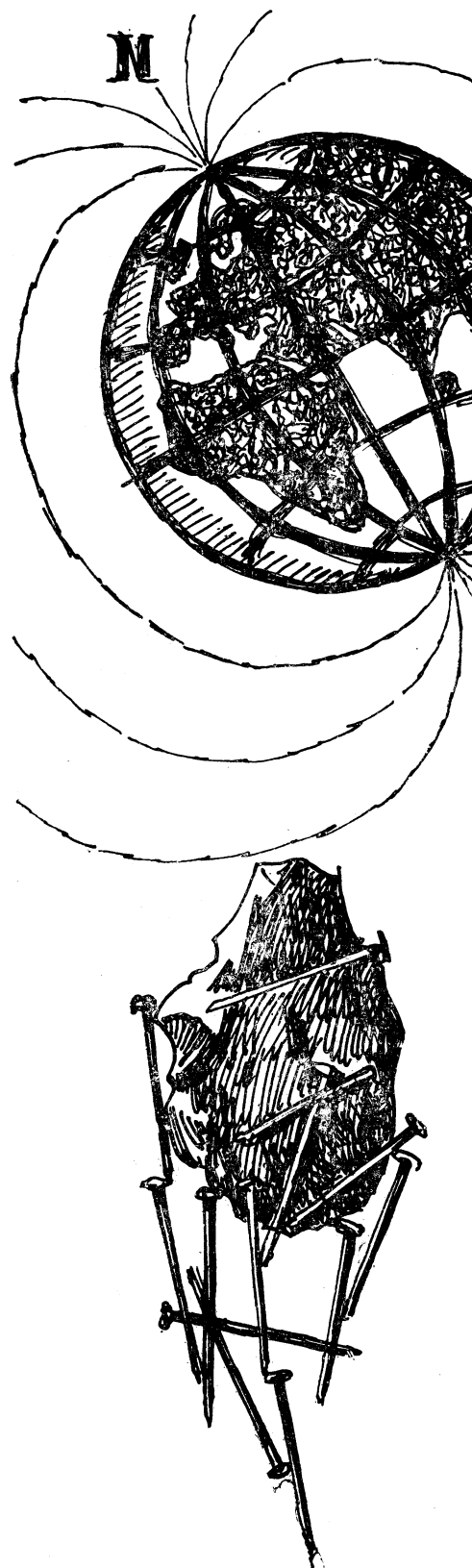
характеристика поля — его потенциал, и измеряются его производные: интенсивность, амплитуда эффекта. Распределение же этих величин в пространстве отличается плавностью. Нет четких мелких деталей, за которые можно было бы уцепиться, чтобы выявить соответствующие детали в строении среды.

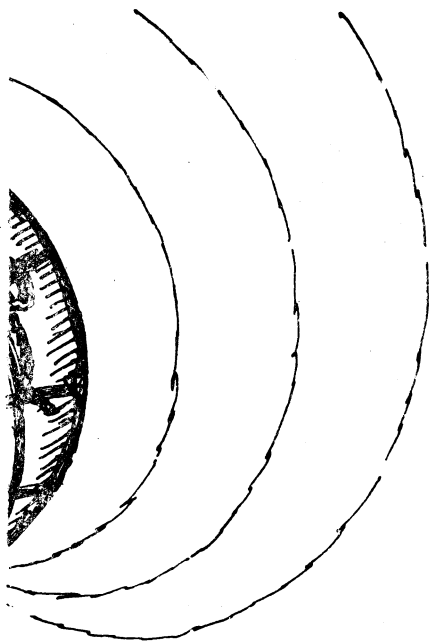
Правда, иногда гравиметристы пытаются расчетным путем, «идя обратным ходом», выявлять «острые углы» гравитационного поля внутри среды и приписывать им физический смысл деталей ее строения. Но задачи такого рода, кроме известной неоднозначности (которую можно, правда, лимитировать выбором подходящей модели строения среды), еще и крайне неустойчивы, и толку из этого обычно не получается.

Из малой дискриминированности и плавности изменения измеряемых величин в пространстве вытекает и характер тех сведений о строении Земли, которые могут быть этим методом получены. Они в большой мере тоже только интегральные, обобщенные, смазанные, лишенные тонких деталей. Большинство геофизиков-разведчиков теперь уже перестали обольщаться некоторыми формальными возможностями детальной количественной интерпретации и ясно отдают себе отчет об относительно невысокой практической точности интерпретационных выводов. Теперь они лишь изредка пытаются производить полную количественную интерпретацию деталей гравитационного поля и ограничиваются качественным рассмотрением этой картины, сопоставляя ее с общими структурными чертами строения районов. При этом, особенно в последнее время, все больше проводятся статистические корреляции особенностей гравитационного поля с другими геофизическими данными и с геологическим строением. В этом случае количественные выводы становятся опять возможными, но они сопровождаются здоровой оценкой степени доверия к их «количественности».

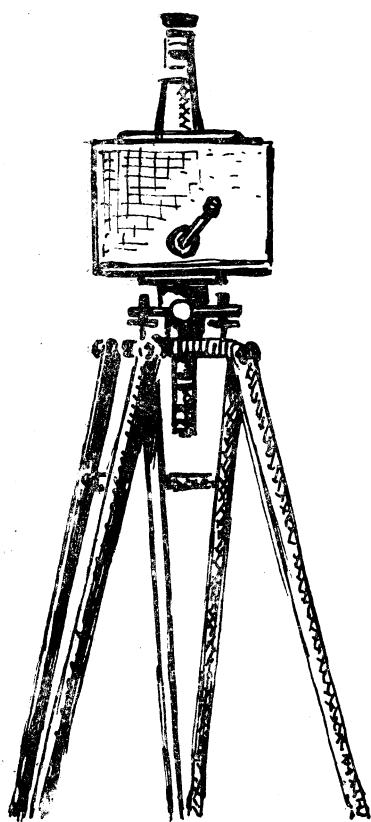
Гравитационной разведкой часто пользуются не потому, что она точна и надежна, а потому, что обходится гораздо дешевле, чем, скажем, сейсмическая, которую проводят лишь там, где она действительно очень нужна. Если же от гравиразведки требуются количественные заключения о глубинах залегания границ раздела, размерах и форме подземных тел, то ее данные опираются чаще всего на данные сейсмике, получаемые в ограниченных местах всей исследуемой территории.

В общей геофизике гравиметристы в известной мере преодолели узкую ограничен-





S



ность возможностей гравиметристов-разведчиков. Они включили в игру фактор времени, или, точнее, частоты колебаний. Из свойств среды, соответственно, удалось тогда включить в рассмотрение, дополнительно к плотности материала, еще его упругость и пластичность, т. е. те свойства, которыми присуще заниматься сейсмике. Здесь я имею в виду изучение гравиметрическими средствами твердых приливов, связанных с воздействием Солнца и Луны на вращающуюся Землю. Эти явления периодически повторяются в пространстве и времени, что и позволяет воспользоваться новым дискриминатором — частотой колебаний. Но частоты эти — порядка одного или двух колебаний в сутки. Они очень низки по сравнению с теми, которые используются в сейсмике — порядка минут и секунд. Разрешающая же способность низкочастотных, длинноволновых колебаний, как мы уже знаем, невелика. Частичное увеличение возможностей метода, использующего частотный дискриминатор, достижимо посредством увеличения числа наблюдаемых периодов, т. е. удлинения времени наблюдений. Это приводит к увеличению точности выводов. Но относятся они все же по-прежнему к некоторым средним величинам; детальность же результата таким путем улучшить трудно.

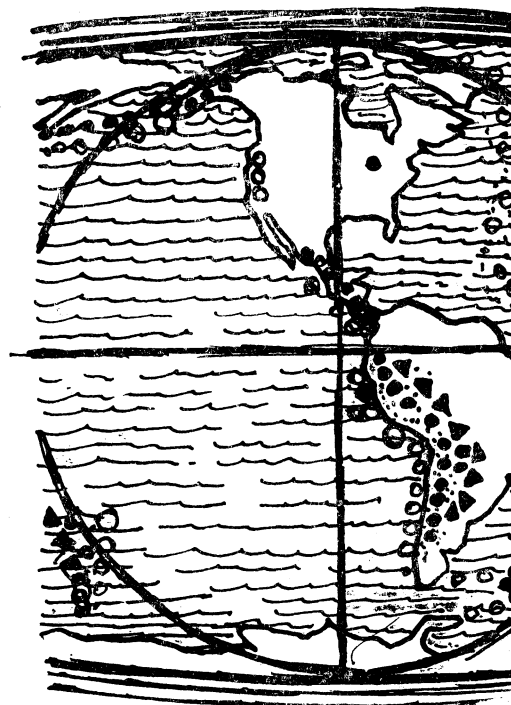
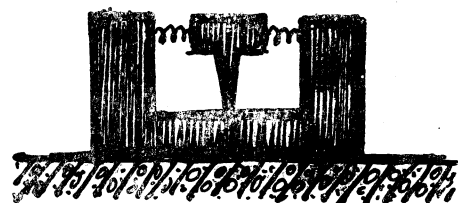
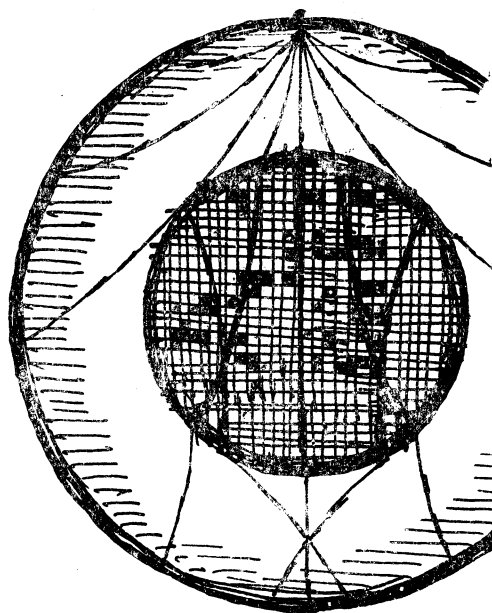
Известны успехи, достигнутые гравиметрией в изучении приливов и некоторых других движений Земли, связанных с ее вращением. Работы М. С. Молоденского в этой области были удостоены Ленинской премии. Трудами гравиметристов сильно сужена неопределенность наших знаний о среднем распределении плотности материала внутри Земли, получены важные общие оценки относительно распределения в Земле реологических параметров материала. Но следует подчеркнуть общий характер — малую локализованность, малую детальность этих сведений по сравнению с тем, что доступно некоторым другим методам исследования, в частности, сейсмике.

Так, из анализа наземных съемок, а также из наблюдения за движением искусственных спутников Земли гравиметристы вывели неоднородность, асимметрию земной оболочки. Но с гораздо большей детальностью, более локализованно эта неоднородность может быть изучена по другим параметрам средствами сейсмологии. Из анализа приливных движений Земли было выведено, что она должна обладать жидким ядром. Это признание было вырвано гравиметристами у природы ценой огромных усилий, и лишь совсем недавно. Между тем сейсмологи уже давно

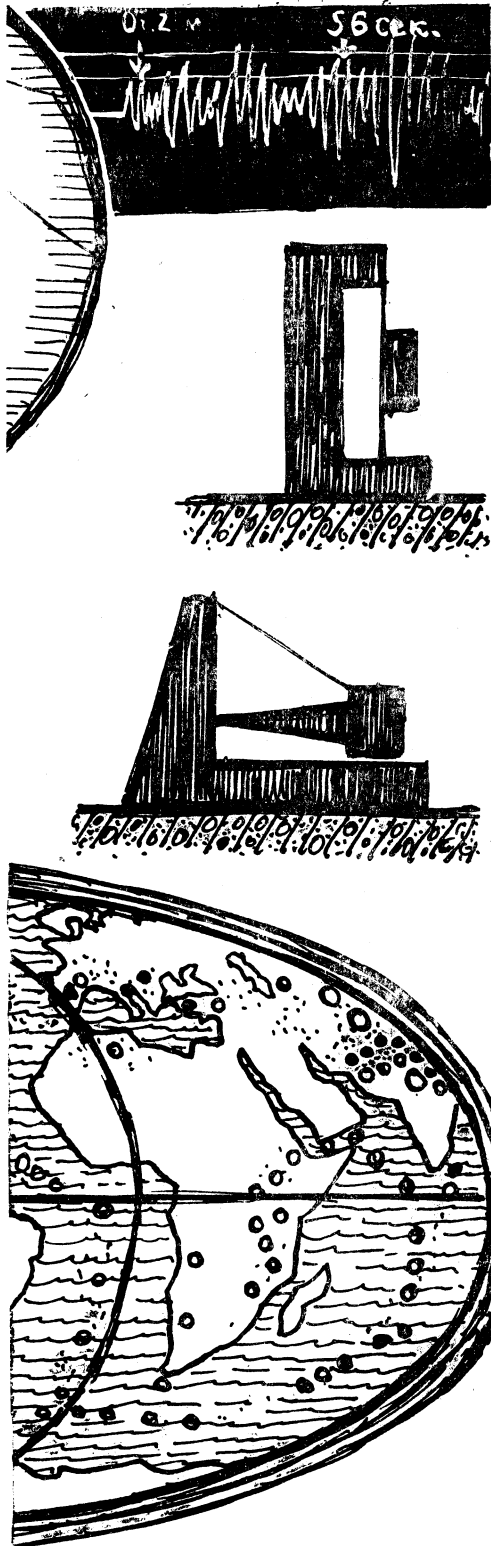
узнали об этом, и притом в более трудных условиях — когда заранее еще ничего не было известно. Гравиметристы же знали, что искали. И все же до сих пор положение границы ядра определяется сейсмологией несравненно точнее, чем гравиметрией. Гравиметристы пока просто не претендуют на проведение исследований распределения свойств вещества внутри ядра, на то, чтобы сказать свое слово о свойствах таинственного внутреннего ядра, хотя сейсмологи уже открыли существование в Земле этой «детали» и с полным правом, учитывая свои потенциальные возможности, пытаются изучать ее дальше.

Это, конечно, совсем не означает, что гравиметрия может быть просто заменена сейсмикой, что сейсмика «вообще» важнее, нужнее, чем гравиметрия. Каждая из этих областей, как и другие области геофизики, важна и нужна на своем месте. Так, ясно, что в отдельных случаях гравиметрия обладает большими возможностями, чем сейсмика, для заключений о плотности материала земных недр, а сейсмика — о его упругости, хотя обе эти области знания имеют отношение к этим двум вопросам, как и к вопросу о характере неидеальной упругости земных материалов. Характер информации, получаемой и используемой разными методами геофизики, различен, и только комплекс методов позволяет достаточно полно характеризовать различные свойства общего объекта исследований. В частности, нельзя априори утверждать, что реологические свойства земных материалов должны быть одинаковыми при частотах колебаний, характерных как для приливных движений (гравиметрия), так и для упругих волн (сейсмика). В принципе, не исключена возможность, что для тектонических, приливных и сейсмических движений Земли удастся найти единую общую модель реологического тела, достаточно близкую к действительности, хотя в этом сейчас, пожалуй, еще не чувствуется необходимости. Но для того чтобы такую модель выбрать, нужны опять-таки совместные усилия в разных областях.

Между разными методами геофизики по существу дела не должно быть ожесточенной борьбы. Наоборот, здесь должно господствовать мирное сосуществование и тесное сотрудничество разных методов в изучении нашей планеты с самых разных сторон. Недостаток разрешающей способности гравиметрии при изучении внутреннего строения Земли должен, хотя бы частично, компенсироваться большими возможностями, которыми



располагает в этом отношении, например, сейсмика. Так это и происходит.



Переходим к магнитометрии. Магнитный эффект, в отличие от гравитационного, обладает полярностью, т. е. некоторой направленностью, что дает магнитометристам дополнительный дискриминатор по сравнению с гравиметристами-разведчиками, для которых дискриминатором служила лишь интенсивность эффекта. Но к разрешающей способности метода это добавляет немного. Общий характер разведочных возможностей обоих методов близок. В основном, это — получение качественных представлений о строении районов. В магнитометрии, как и в гравиразведке, остаются возможными также статистические корреляционные пути перехода к количественной форме выводов с оценкой их дисперсии.

В магнитном методе, как и в гравитационном, есть и принципиальные возможности полной количественной интерпретации наблюдений вплоть до расчета распределения «магнитных масс» под землей, в пределах заранее выбранной общей модели строения. Но степень устойчивости этих задач так же мала, как и в гравиметрии, так что количественные заключения о подземном строении по магнитным данным становятся практически возможными лишь при наличии опорных данных, привносимых извне. Это могут быть, например, данные электро- или сейсморазведочные.

Следует еще заметить, что магнитный метод, конечно, очень эффективен для обнаружения в Земле скоплений ферромагнитных материалов, например магнетитовой железной руды. С другой стороны, глубинность этого метода для разведочных и аналогичных целей ограничена существованием такой температуры, при которой ферромагнитные свойства исчезают (точка Кюри). Эта температура для никеля равна 365° , железа — 768° , кобальта — 1150° С. Температура же в 1000° С характерна для глубин порядка 100—150 км. Таким образом, возможности применения магнитного метода ограничены глубинами в пределах только земной коры или, может быть, только верхов верхней мантии.

И здесь, говоря о сравнительно малой разрешающей способности магнитного метода при изучении глубинного строения Земли, мы несколько не хотим затушевывать его важность и незаменимость в ряде других отноше-

ний. Так, направленность магнитного эффекта и существование точки Кюри позволяют изучать тепловую и «направленностную» историю образования и дальнейшего поведения блоков горных пород. Эти блоки могут быть разной величины: от совсем небольших до таких огромных, как целые материи. Известно, что глобальное магнитное поле нашей планеты и его вековые изменения связаны с вращением Земли и с тем, что в ней есть жидкое ядро. По-видимому, именно в жидком ядре заключена та «динамо-машина», которая образует глобальное магнитное поле. С другой стороны, в земной коре горные породы, остывая из расплава и переходя через точку Кюри, или же осаждаясь из мутной воды, намагничивались в соответствии с направлением глобального магнитного поля в момент их образования или метаморфизации. Если в настоящий момент мы видим, что направление намагниченности пород не соответствует современному полю Земли, то это означает, что либо изменилось поле Земли, либо блоки пород повернулись, либо произошло и то, и другое. На самом деле происходит именно и то, и другое, так что разобраться в том, что именно происходило на разных этапах истории Земли, совсем не просто. Тем более, что следы некоторых этапов могут быть стерты, утеряны безвозвратно. Все же некоторые возможности анализа имеются, и геомагнитики занимаются разъяснением всего этого.

Но все эти важные и сложные проблемы не должны затмевать главного обсуждаемого вопроса о соотношении разрешающей способности разных методов. А здесь остается справедливым: разрешающая «сила» магнитного метода, по указанным причинам, сравнительно невелика.

Переходим к группе электромагнитных и сейсмических методов*. Характерная особенность этих методов, в вариантах и естественных и искусственных полей, — возможность использования переменных во времени полей, причем либо стационарных (или квазистационарных), либо импульсных. Обсуждение постоянных полей (таких, как в электрическом методе постоянного тока) возвратило бы нас в рассматриваемом случае к статической гравиметрии и магнитомет-

рии. Переменные же поля позволяют вводить в действие такие новые дискриминирующие факторы, как частота колебаний, направленность, время. Фактор интенсивности тоже, конечно, остается в действии.

В сущности, магнитный метод и электрический метод постоянного тока — это отдельные стороны, частные случаи электромагнитных методов, соответствующие нулевой частоте колебаний.

Появляющийся в методах колебательного стационарного поля фактор частоты еще не устраняет эффекта интегральности, который мешает тонкому различению деталей строения среды. В случае любого стационарного поля — электромагнитного, сейсмического или теплового — к приемнику одновременно приходят сигналы со всех направлений и от всех (как близких, так и удаленных) элементов среды. Введение фактора направленности луча, устраняя интегрирование по углу зрения, не устраняет интегрирования по направлению вдоль луча, по расстоянию.

Сильнейший дискриминатор — время выступает лишь при переходе стационарного поля к импульсному. Он снимает интегральность эффекта и в функции расстояния.

Наиболее широкие возможности в изучении деталей строения среды появляются, конечно, при использовании всех указанных факторов: интенсивности, частоты, направленности, времени. Причем, действенность факторов, пожалуй, возрастает чаще всего именно в указанной последовательности: интенсивность и частота — сравнительно слабые дискриминаторы, направленность и время — более сильные. Впрочем, главная роль, в зависимости от обстоятельств, может иногда переходить от одного фактора к другому.

Ранее, выясняя смысл различных дискриминирующих факторов, мы обращались к аналогии с микроскопом и радаром. Теперь, чтобы дать еще лучше почувствовать роль этих факторов, обратимся к аналогии с органами чувств человека, а именно с наиболее тонким и дифференцированным из них — с человеческим глазом.

Использование одного лишь фактора интенсивности, как в статических методах гравиметрии, магнитометрии и в методе постоянного электрического поля, — подобно зрительным возможностям человека с катарактой на глазах, который не способен к тому же различать цвет. Он видит лишь свет: слабый или сильный — различает его интенсивность, и ничего больше. Добавление фактора частоты позволило бы этому человеку распознавать, кроме интенсивности света, также

* Говоря о сейсмологии, автор не касается вопросов изучения и прогноза землетрясений. (Прим. ред.)

его цвет. Но и только. Ясности зрения еще нет.

Таковыми весьма ограниченными возможностями располагают геофизические методы, пользующиеся низкочастотными стационарными или квазистационарными колебаниями, частотный состав которых анализировать легко, а направленность волнового процесса установить трудно. В таком положении оказывается динамическая гравиметрия, занимающаяся изучением земных приливов. Из электромагнитных методов сюда относятся современные методы частотного электромагнитного профилирования и зондирования с методикой интерпретации, основанной на представлении о распространении в Земле плоских синусоидальных волн различной частоты. В сейсмологии такими возможностями располагает метод зондирования земной коры и мантии по наблюдениям дисперсии скоростей поверхностных сейсмических волн при квазистационарных колебаниях, связанных с микросейсмами или вызываемых взрывами и землетрясениями. Ими же располагают сейсмо-гравитационные методы изучения различных мод собственных колебаний Земли в целом, вызываемых сильнейшими катастрофическими землетрясениями.

Достойны ли жалости те геофизические методы, которым приходится довольствоваться

«зрением» ниже «нормального»? Если угодно, — да, но вряд ли «жалость» здесь подходящее слово. Ведь эти методы приспособились к своему недостаточному «зрению» и как бы не замечают его, по крайней мере, пока жестоко не растолковать им об этом. (Вспомните историю Иоланты, так трогательно раскрытую в музыке П. И. Чайковского.) Далее, человек с недостаточным зрением, если он наблюдателен, активен и умен, может компенсировать свой недостаток силой опыта, труда и умозаключений. Ведь богатство ощущения, восприятия внешнего мира и богатство представлений о нем, хотя и взаимно связаны, но не всегда развиваются пропорционально друг другу. Видеть — еще не значит ведать. Орел видит лучше, острее, чем человек, но человек видит содержательнее, компенсируя слабость зрения силой ума. Нечто подобное справедливо и в отношении геофизических методов.

И наконец, различные геофизические методы, «видящие» хуже или лучше, живут в таком обществе, где (как мы с вами условились) должно царить сотрудничество и взаимопомощь, где физические недостатки одних должны восполняться достоинствами других.

(Окончание в следующем номере)



НОВОЕ ОБ АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ

Новые данные, полученные в мае 1969 г. с помощью советских автоматических станций «Венера-5» и «Венера-6», подтвердили измерения, сделанные в октябре 1967 г. станцией «Венера-4» и существенно уточнили наши сведения об атмосфере Венеры. Это прежде всего относится к вопросу о химическом составе атмосферы Венеры. Оказалось, что концентрация углекислого газа достигает 93—97%, азота вместе с инертными газами 2—5%, количество кислорода не превышает 0,4%. Содержание паров воды на уровне высот, соответствующих давлению 0,6 атм, составляет от 4 до 11 мг/л.

Измерения производились на участках атмосферы, где темпе-

ратура изменялась приблизительно от 25 до 320° С и давление от 0,5 до 27 атм. Ход температуры по высоте в интервале измерений мало отличается от адиабатического. В случае, если до поверхности планеты температура будет изменяться по адиабатическому закону, то на уровне поверхности, определенном радиовысотометром станции «Венера-6» (10—12 км), температура и давление будут около 400° С и 60 атм, а на уровне поверхности, определенном радиовысотометром станции «Венера-5» (24—26 км), температура и давление могут достигать величины порядка 530° С и 140 атм. Различия на 12—16 км показаний радиовысотометров при одинаковых значениях температуры и давле-

ния будет подвергнуто дальнейшему изучению.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что Венера обладает мощной, плотной атмосферой и имеет очень высокие значения давления и температуры у поверхности.

Совместный полет двух межпланетных автоматических станций «Венера-5» и «Венера-6» — новый выдающийся шаг в познании Вселенной, достигнутый в преддверии 100-летия со дня рождения гениального основателя Коммунистической партии и Советского государства В. И. Ленина, замечательное свидетельство научно-технического прогресса Советской страны, творческого энтузиазма ее народа.

Астродинамические особенности полета

Трасса полета космического корабля Земля — Луна — Земля весьма специфична. Начальные условия вывода корабля на траекторию довольно трудные. Ошибки в расчете скорости при выводе на орбиту с Земли очень опасны. Неизбежные отклонения требуют, как правило, двух коррекций: одну — для того, чтобы космический корабль прошел на требуемом расстоянии от Луны, и вторую — для того, чтобы корабль возвратился к Земле. Мягкая посадка на Землю предъявляет к расчету траектории очень сложные требования.

Полеты советских автоматических станций «Зонд-5» и «Зонд-6», а впоследствии американского корабля «Аполлон-8» открыли новый этап в исследовании Луны и космического пространства. Станции «Зонд-5» и «Зонд-6» совершили первые облеты Луны. Впервые были возвращены на Землю с окололунной орбиты автоматически управляемые космические станции. Полет корабля «Аполлон-8» имел основной задачей отработку ракетно-космической системы, предназначенной для высадки экспедиции на Луну.

Какие же научно-технические задачи, связанные с особенностями трассы Земля — Луна — Земля, пришлось решать ученым?

Прежде всего напомним, как была выведена на лунную трассу станция «Зонд-5». 15 сентября 1968 г. в 0 часов 42 минуты московского времени автоматическая станция «Зонд-5» вместе с последней ступенью ракеты-носителя была выведена на близкую к круговой орбиту вокруг Земли с высотой около 200 км над земной поверхностью. Период движения по такой орбите — около 88,5 минуты, а скорость — около 7,78 км/сек. Другими словами, сначала был запущен на почти круговую орбиту тяжелый искусственный спутник Земли. Через 67 минут с него стартовала автоматическая станция «Зонд-5», которая вышла на траекторию полета к Луне. Для этого искусственный спутник Земли (т. е. последняя ступень ракеты-носителя вместе с автоматической станцией) был автоматически ориентирован в пространстве, чтобы

обеспечить нужное направление тяги, а затем был включен ракетный двигатель, сообщивший ему дополнительную скорость. Когда скорость искусственного спутника Земли достигла расчетной величины, близкой ко второй космической скорости, произошло автоматическое отделение станции «Зонд-5» от ракеты-носителя.

При полете космического аппарата решались две астродинамические задачи. Во-первых, аппарат должен обогнуть Луну на заданном расстоянии и, во-вторых, после облета Луны совершить мягкую посадку на Землю.

Движение автоматической станции должно было происходить (если не учитывать притяжения Луны) по сильно вытянутой эллиптической орбите спутника Земли. При этом стартовая скорость станции и момент старта принимались такими, чтобы эта эллиптическая орбита выходила за пределы лунной орбиты и чтобы станция во время наибольшего удаления от Земли оказалась в непосредственной близости к Луне. Рассмотрим пример, поясняющий требования к точности стартовой скорости автоматической станции. Пусть станция стартует с высоты 200 км над Землей со скоростью $V_0 = 10,918$ км/сек и движется в плоскости, перпендикулярной к плоскости орбиты Луны. Период движения по такой орбите составляет около 10 суток, а ее апогей (т. е. наиболее далекая от Земли точка орбиты) расположен примерно в 7500 км за орбитой Луны. Если бы Луна не

на трассе Земля—Луна—Земля

Ю. А. РЯБОВ
профессор

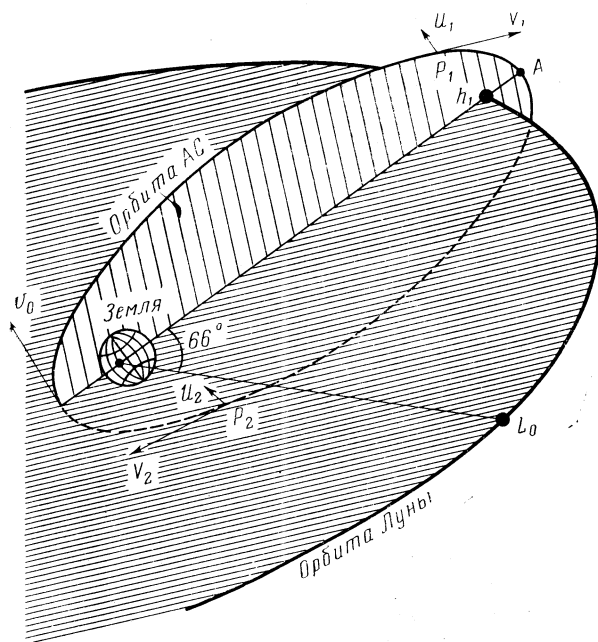
оказывали влияния на движение станции, то скорость движения автоматической станции по орбите непрерывно уменьшалась бы по мере удаления от Земли и в апогее составила бы лишь 170 м/сек. На обратном пути к Земле скорость автоматической станции, постепенно возрастая, достигла бы опять 10,918 км/сек при возвращении в точку перигея (ближайшую к Земле точку орбиты).

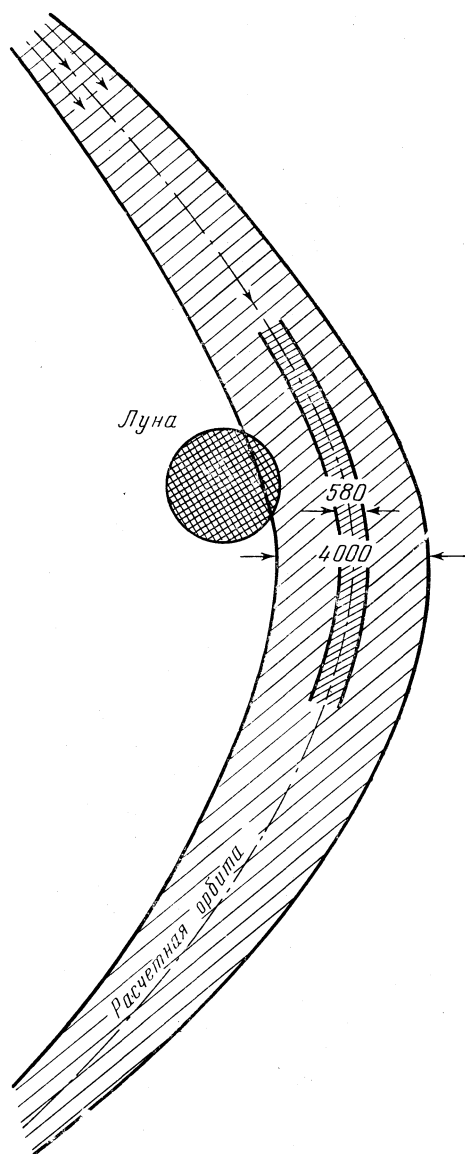
Чтобы обеспечить сближение станции с Луной, нужно (при указанных параметрах орбиты станции) произвести старт, когда угловое расстояние между направлениями на Луну и на апогей орбиты автоматической станции будет равно примерно 65° .

Если стартовая скорость станции имеет ошибку $\pm 0,5$ м/сек (0,005% от V_0) по величине и $\pm 10'$ по направлению, то апогей орбиты может сместиться более чем на 2000 км, поэтому требования к точности стартовой

скорости очень велики. Для облета Луны на заданном расстоянии целесообразно предусмотреть также коррекцию движения автоматической станции. Величина коррекции должна определяться той фактической траекторией, по которой движется станция. Как известно, коррекции успешно выполнялись при полетах станций «Зонд-5» и «Зонд-6». Так, первая коррекция траектории «Зонд-5» была проведена на расстоянии 325 тыс. км от Земли. На таком расстоянии скорость станции (при условиях, принятых в нашем примере) составит 671 м/сек. Пусть ошибка стартовой скорости станции такова, что перигей отодвинулся от Земли в плоскости орбиты станции на 2000 км по сравнению с расчетной точкой. Тогда, если корректирующая двигательная установка сообщит станции дополнительную скорость U , направленную под углом около 100° к скорости станции и равную примерно 54 м/сек, дальнейшее движение станции без учета притяжения Луны будет происходить по орбите, апогей которой снова сместится примерно на 2000 км, но в противоположном направлении (к Земле) и возвратится в расчетную точку. Если ошибка корректирующей скорости не превышает $\pm 1^\circ$, то отклонения апогея остаются в пределах ± 290 км. Таким образом решается первая астрономическая задача полета автоматической станции — облет Луны на заданном расстоянии.

ПЛОСКОСТЬ ОРБИТЫ автоматической станции (АС) перпендикулярна к плоскости орбиты Луны. А — апогей орбиты станции; h_1 — ближайшая к апогею орбиты станции точка траектории движения Луны; P_1 и P_2 — положения станции в моменты коррекции; V_1 , V_2 — векторы скорости станции; U_1 , U_2 — векторы корректирующей скорости. В момент старта станции Луна находится в точке L_0



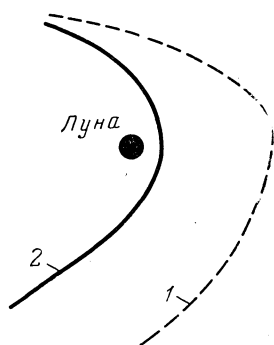


ОРБИТА СТАНЦИИ вблизи Луны отклоняется от расчетной (штрих-пунктирная линия) из-за ошибок в стартовой скорости. Редкой штриховкой отмечена область, где лежат отрезки траектории автоматической станции, соответствующие ошибкам стартовой скорости менее $\pm 0,5$ м/сек по величине и $\pm 10'$ по направлению. После первой коррекции отрезки траекторий станции будут находиться в более узкой области. Если ошибки корректирующей скорости не превышают $\pm 0,5$ м/сек по величине и $\pm 1^\circ$ по направлению, то ее ширина менее 600 км (густая штриховка)

Приведенные выше данные получены без учета притяжения Луны, которое оказывает весьма существенное влияние на траекторию облета. Когда автоматическая станция приблизится к Луне менее чем на 40 000 км и войдет в ее «сферу тяготения», то движение станции будет определяться в основном притяжением Луны. Станция будет двигаться относительно Луны по отрезку гиперболической траектории. Луна как бы «завернет» станцию к себе, увеличит ее скорость по сравнению со скоростью вдоль прежней эллиптической орбиты. В рассмотренном выше примере притяжение Луны, как показывают расчеты, уменьшит минимальное расстояние станции до Луны примерно до 3,5 тыс. км (вместо 7,5 тыс. км). Скорость станции при сближении с Луной составит около 1 км/сек (вместо 170 м/сек). Это увеличение скорости приведет к сокращению времени возвращения станции к Земле примерно до восьми суток (вместо десяти). После выхода из сферы тяготения Луны станция будет двигаться относительно Земли опять по эллиптической орбите, но со значительно измененными параметрами.

Вторая астродинамическая задача определяется условием: после облета Луны станция должна совершить мягкую посадку на Землю. Для решения этой астродинамической задачи нужно (если не предполагается использовать ракетные двигатели), чтобы автоматическая станция двигалась по траектории, расчетный перигей которой лежит на высоте 35 (± 5) км над поверхностью Земли. Такая высота перигея гарантирует благополучное возвращение станции на Землю, осуществляемое благодаря торможению в земной атмосфере. При меньшей высоте перигея торможение будет слишком велико и возникнут недопустимые перегрузки. При большей высоте перигея торможение окажется слишком малым и недостаточным для спуска станции на Землю по баллистической траектории.

Частично эта задача выполняется уже при первой коррекции. В принципе ее возможно выполнить так, чтобы станция не только облетела Луну на заданном расстоянии, но и вышла из сферы тяготения Луны на эллиптическую орбиту с заданной высотой перигея (35 км над Землей). Однако для этого корректирующая скорость должна обладать очень высокой точностью. Гиперболический отрезок траектории вблизи Луны, а вместе с тем и последующая эллиптическая траектория относительно Земли очень чувствительны и к ошибкам начальной скорости при запуске, и к корректирующей скорости. На-



ТРАЕКТОРИИ автоматической станции в «сфере тяготения» Луны. 1 — эллиптическая орбита станции без учета притяжения Луны; 2 — гиперболическая траектория станции (с учетом притяжения Луны)

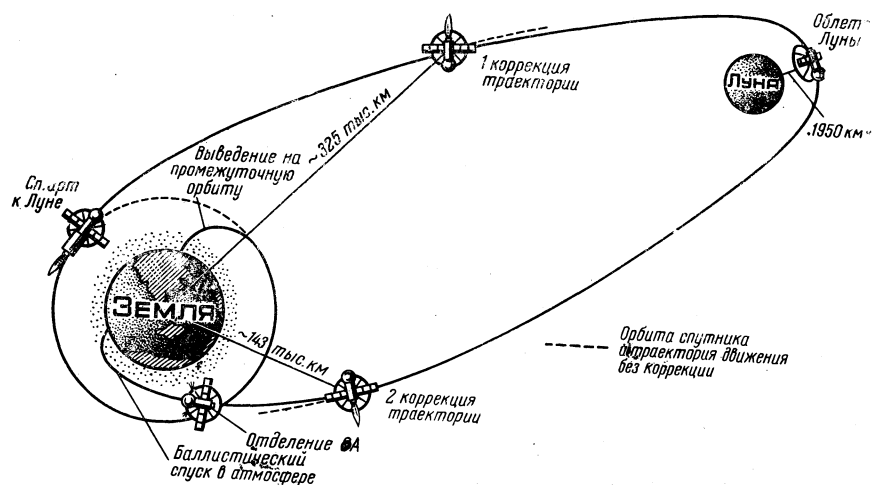


СХЕМА ПОЛЕТА автоматической станции «Зонд-5» по трассе Земля — Луна — Земля

пример, увеличение начальной скорости в рассмотренном примере на 1 м/сек приводит к тому, что к моменту входа в сферу тяготения Луны положение станции отклоняется примерно на 1000 км от расчетного, а скорость — примерно на 15 м/сек, в дальнейшем на пути возвращения к Земле отклонение достигает нескольких десятков тысяч километров. Поэтому, вообще говоря, необходима вторая, а иногда и третья коррекция, осуществляемые на пути возвращения станции к Земле.

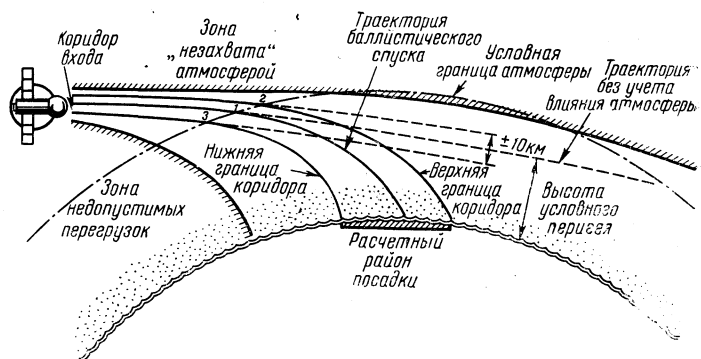
Требуемые направления дополнительных скоростей при первой и второй коррекциях обеспечиваются предварительной ориентацией автоматической станции в пространстве с помощью систем автоматического управле-

ния. Точность ориентации должна быть очень велика (нужно учесть, что ориентация производится автоматическими устройствами).

Решение рассмотренных задач предопределило успешные полеты космических аппаратов по трассе Земля — Луна — Земля.

Запуск автоматической станции «Зонд-6» был осуществлен 10 ноября 1968 г. в 22 часа 11 минут 30 секунд московского времени. Эта станция облетела Луну на заданном расстоянии от ее поверхности, равном 2420 км. При полете станции «Зонд-6» были произведены три коррекции траектории: одна — до облета Луны, а две — после. В эксперименте со станцией «Зонд-6» впервые проверялся более сложный и перспективный метод воз-

ВХОД СТАНЦИИ «ЗОНД-5» в атмосферу и спуск на Землю: 1 — расчетная точка входа в атмосферу; 2 — точка входа в атмосферу с посадкой на дальней границе района посадки; 3 — точка входа в атмосферу с посадкой на ближней границе района посадки



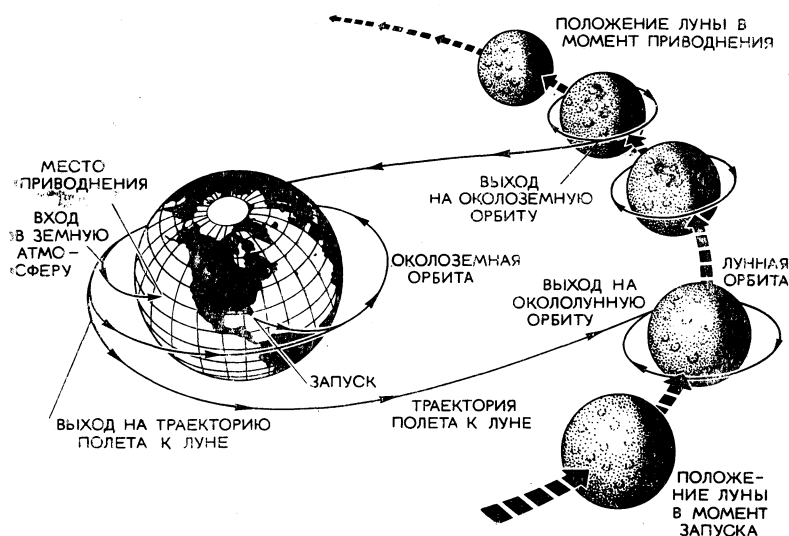


СХЕМА ПОЛЕТА космического корабля «Аполлон-8»

вращения космических аппаратов с межпланетных траекторий — метод управляемого спуска с использованием аэродинамической подъемной силы (аэродинамического качества) спускаемого аппарата.

Спускаемый аппарат станции «Зонд-6» 17 ноября 1968 г. в 16 часов 58 минут вошел в плотные слои атмосферы. Движение спускаемого аппарата станции «Зонд-6» в атмосфере Земли проходило по траектории с двумя погружениями в атмосферу. При первом погружении спускаемого аппарата вторая космическая скорость ($11,2 \text{ км/сек}$) была снижена за счет аэродинамического торможения до $7,6 \text{ км/сек}$. С помощью бортовой системы управления спускаемый аппарат был сориентирован так, что, пройдя сквозь верхние слои атмосферы, он вышел из них и далее продолжал полет по баллистической траектории до второго погружения в атмосферу. На втором участке погружения дальнейшее снижение спускаемого аппарата также проходило по траектории управляемого спуска с использованием аэродинамического качества. Это обеспечило возвращение аппарата на Землю в заданный район и с меньшими перегрузками. На высоте $7,5 \text{ км}$ при скорости 200 м/сек была включена па-

рашютная система и аппарат приземлился.

21 декабря 1968 г. с мыса Кеннеди была запущена ракета-носитель «Сатурн-5» с космическим кораблем «Аполлон-8». Ракета вывела корабль на околоземную орбиту, а через 2 часа 30 минут — на трассу полета к Луне. 24 декабря основной двигатель был включен на торможение и корабль перешел на орбиту спутника Луны. (Наибольшее расстояние от поверхности Луны составляло 313 км , наименьшее — 112 км .) В этот же день в 17 часов 21 минуту уменьшением скорости была скорректирована орбита, которая практически превратилась в круговую с высотой около 113 км над поверхностью Луны. 25 декабря в 9 часов 10 минут был включен основной двигатель на разгон и «Аполлон-8» перешел на траекторию полета к Земле. 27 декабря перед входом в плотные слои атмосферы командный отсек отделился от двигательного отсека корабля и совершил управляемый спуск в атмосфере Земли с использованием аэродинамического качества.

Полеты автоматических станций «Зонд-5», «Зонд-6» и корабля «Аполлон-8» знаменуют собой качественно новую ступень инженерной и научной мысли в области исследования космоса.



ПОЛЕТ «АПОЛЛОНА-9»

3 марта 1969 г. с полигона на мысе Кеннеди в 19 часов (время здесь и далее московское) стартовал космический корабль «Аполлон-9» с тремя космонавтами на борту. Командовал кораблем полковник военно-воздушных сил Д. Макдивитт. Полковник военно-воздушных сил Д. Скотт был назначен пилотом основного блока корабля. В полете принимал участие гражданский ученый Р. Швейкарт. Два первых космонавта уже побывали в космосе на корабле «Джемини».

Экипажу корабля в течение десяти суток предстояло решить одну из трудных задач, поставленных проектом «Аполлон»: требовалось испытать в космосе лунную кабину, в которой в будущем космонавты смогут опуститься на Луну и взлететь с нее.

Через 10 минут 59 секунд после старта третья ступень ракеты и прикрепленный к ней корабль «Аполлон-9» вышли на почти круговую орбиту вокруг Земли (удаление от земной поверхности около 190 км). Вся система (корабль, третья ступень ракеты-носителя с лунной кабиной и переходник между ракетой и кораблем) весила около 135 т. Этот груз был поднят в космос ракетой «Сатурн-5», способной развивать силу тяги в 3400 т.

Через 3 часа после старта командир корабля включил вспомогательные двигатели основного блока и отделил его от третьей ступени ракеты, затем подвел основной блок к лунной кабине и произвел стыковку. Приблизительно через час космонавты отделили основной блок с присоединенной к нему лунной кабиной от третьей ступени ракеты-носителя.

Включенный на 62 секунды двигатель вывел третью ступень на эллиптическую орбиту вокруг Земли с высотой перигея около 200 км и высотой апогея приблизительно 3000 км.

4 марта двигатель третьей ступени был включен еще на 241 секунду и ступень вышла на гелио-

центрическую орбиту. В течение вторых суток полета космонавты три раза включали и выключали маршевый двигатель, а затем «положили корабль в дрейф».

Несмотря на внезапно возникшее недомогание Швейкарта, был выполнен запланированный переход Макдивитта и Швейкарта из отсека экипажа в лунную кабину через внутренний лаз.

5 марта состоялся телевизионный сеанс и еще одно включение на 367 секунд двигателя посадочной ступени лунной кабины. Закончив испытания, Макдивитт и Швейкарт возвратились в отсек корабля.

6 марта Швейкарт выходил в открытый космос, находясь на специальной платформе.

7 марта космонавты провели самый сложный эксперимент из предусмотренных программой. Макдивитт и Швейкарт еще раз перешли по внутреннему лазу в лунную кабину и отделили ее от основного блока, в котором остался Скотт. Раздельный полет продолжался около 6 часов. За это время несколько раз включались двигатели лунной кабины и был проделан ряд маневров, в том числе сближение с основным блоком, причаливание и стыковка. Во время этого полета максимальное удаление лунной кабины от основного блока составило 175 км.

Завершив свой автономный полет и стыковку, Макдивитт и Швейкарт перешли из лунной кабины в отсек экипажа основного блока.

8 марта космонавты отдыхали. Вторая половина полета «Аполлона-9» была гораздо менее напряженной. Космонавты испытывали различные системы корабля, проверяли работу оборудования отсека экипажа. В частности, они фотографировали земную поверхность для определения возможности исследования природных ресурсов нашей планеты с искусственных спутников.

Сильный шторм в предпологавшемся районе приводнения вынудил экипаж пробыть в космосе

лишних 1,5 часа и сделать дополнительный виток, чтобы обеспечить приводнение в запасном районе, которое и было произведено 13 марта в 20 часов близ Багамских островов.

Полет «Аполлона-9» прошел успешно. Несмотря на ряд трудностей, возникших во время полета, благодаря мужеству и отваге трех космонавтов очередная космическая программа была выполнена.

ПОЛЕТ «АПОЛЛОНА-10»

В мае 1969 г. в историю освоения космического пространства были вписаны новые яркие страницы. 16 и 17 мая две советские автоматические станции «Венера-5» и «Венера-6» достигли планеты Венера, обогатив человечество новыми сведениями об одном из малоисследованных небесных тел солнечной системы, а вскоре мир узнал об успешном эксперименте американских ученых — восьмидневном полете корабля «Аполлон-10».

«Аполлон-10» стартовал с полигона на мысе Кеннеди 18 мая. На его борту находились космонавты Томас Стаффорд (командир корабля), Джон Янг и Юджин Сернан.

38-летний полковник Стаффорд и его ровесник капитан Янг уже дважды участвовали в полетах кораблей «Джемини», 35-летний капитан-лейтенант ВМФ Сернан принимал участие в полете корабля «Джемини-9» и на два часа выходил в открытый космос.

Корабль вывели сначала на околоземную орбиту и он находился там приблизительно 2 часа 40 минут. После этого был включен двигатель последней ступени ракеты-носителя, и корабль перешел на траекторию полета к Луне. Во время полета к Луне космонавты проводили навигационные наблюдения и эксперименты, осуществляли подготовку к операциям у Луны, демонстрировали телезрителям вид Земли из космического пространства и внутренний вид кабины корабля.

После трех суток полета корабль достиг района Луны. Стаффорд, включив маршевый двигатель, затормозил движение корабля и перевел его на окололунную орбиту с максимальным расстоянием от поверхности Луны 320 и минимальным — около 111 км. С этой орбиты телезрителям был показан лунный

пейзаж. В нем преобладал серо-коричневый цвет. Воронки лунных кратеров казались черными. После нескольких витков по эллиптической орбите корабль был переведен на почти круговую селеноцентрическую орбиту, отстоящую от поверхности Луны на 112 км.

В ночь с 22 на 23 мая был осуществлен основной эксперимент, предусмотренный программой: автономный полет лунной кабины. Для этого Стаффорд и Сернан перешли из отсека экипажа «Аполлона-10» в лунную кабину, где начали подготовку к расстыковке. После расстыковки Стаффорд и Сернан, включив двигатели кабины, перевели ее на эллиптическую орбиту. Двигаясь по этой орбите, лунная кабина приближалась к Луне в периселении на расстояние до 15 км. Такое приближение к Луне требовало очень точного управления, поскольку нужно было учитывать неровности поверхности Луны и большую скорость лунной кабины (около 4000 км/час). Далее последовало отделение взлетной ступени лунного отсека, на которой находилась кабина с двумя космонавтами, от посадочной ступени: Стаффорд и Сернан имитировали взлет с Луны. Маневры взлетной ступени завершились ее стыковкой с кораблем-маткой, пилотируемым Янгом. Ко времени стыковки корабль-матка успел сделать 31 оборот вокруг Луны. Когда Стаффорд и Сернан возвратились по внутреннему лазу в отсек экипажа, взлетная ступень лунной кабины была отделена от корабля. Примерно сутки корабль с тремя космонавтами продолжал еще летать вокруг Луны. Космонавты занимались окончательной отработкой навигационных расчетов, а также фотографировали и визуально наблюдали поверхность Луны. Они сообщили, что разли-



Члены экипажа американского космического корабля «Аполлон-10» (слева направо): Юджин Сернан, Томас Стаффорд и Джон Янг после приводнения

Фото ЮПИ-ТАСС

чают кратеры, возникшие от падения метеоритов, и кратеры явно вулканического происхождения.

25 мая космонавты включили маршевый двигатель «Аполлона-10». Корабль перешел с окололунной орбиты на траекторию полета к Земле. Теперь телезрители во время очередного телевизионного сеанса могли наблюдать удаление корабля от Луны. На экране телевизоров появились лунные хребты и широкие долины, усеянные гигантскими «валунами». Лунные моря космонавты сравнили с выжженными пустынями. Телезрители видели кратер Циолковский, впервые сфотографированный в 1959 г. советской автоматической станцией «Луна-3». Внешние склоны кратера — белые, как будто из мела,

внутренние стороны — рыжевато-коричневые, а дно — шоколадного цвета.

Корабль «Аполлон-10» был очень точно выведен на трассу Луна — Земля. Путь к Земле занял 54,5 часа, это на 20 часов меньше, чем время полета к Луне.

26 мая «Аполлон-10» вошел в атмосферу Земли и благополучно приводнился в Тихом океане в районе острова Самоа.

Во время всего полета важнейшие системы корабля действовали безотказно и надежно. Космонавты были хорошо подготовлены к трудному полету и проявили отвагу, мужество и находчивость при осуществлении сложных экспериментов. Сделан новый важный шаг, приближающий день высадки человека на поверхность Луны.

ПОЛЕТ СОВЕТСКОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ЛУНА-15»

Когда этот номер журнала уже находился в печати, стало известно, что 21 июля 1969 г. автоматическая станция «Луна-15» достигла поверхности Луны в заданном районе.

Запуск автоматической станции «Луна-15» был произведен 13 июля 1969 г. За время полета по селеноцентрической орбите станция совершила 52 оборота вокруг Луны.

Станция «Луна-15» отличается от предыдущих автоматических станций «Луна-9» и «Луна-13» возможностью осуществления посадки в различных районах лунной поверхности за счет изменения селеноцентрической орбиты. Два таких изменения орбиты были проведены 18 и 19 июля. При этом были испытаны новые автоматические навигационные системы.

В процессе полета со станцией было проведено 86 сеансов радиосвязи, в ходе которых проводилась работа новых систем станции, измерялись параметры траектории движения и проводились научные исследования.

За время полета по селеноцентрической орбите станцией проведен ряд научных исследований в окололунном пространстве и получены важные опытные данные о работе конструкций и бортовых систем.

ЗВЕЗДНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

И. ИБЕН
профессор (США)

Лишь совсем недавно была рассчитана эволюция массивных звезд после их ухода с главной последовательности. Предсказываемые теорией сложные пути звезд на диаграмме Герцшпрунга — Рессела неплохо согласуются с наблюдениями.

Как звезда «рождается» и как она «умирает»?.. На эти вопросы все еще нет ответа. Но мы довольно хорошо знаем, как протекают самые продолжительные в активной жизни звезды стадии эволюции, во время которых идут ядерные реакции. Теория далека от завершения, загадки еще остаются, но в целом сравнение теоретических моделей звезд с наблюдениями внушает доверие к теории.

Мы рассмотрим вначале эволюцию звезды с массой 5 солнечных, исходный химический состав которой подобен составу у поверхности Солнца. Предсказываемые теорией величины, которые можно сопоставить с наблюдениями, конечно, наиболее интересны для ее проверки. Эволюционный путь звезды (трек) на диаграмме Герцшпрунга — Рессела, или диаграмме температура — светимость определяет меняющееся со временем соотношение между поверхностной температурой и светимостью (количество излучаемой звездой энергии).

ГОРЕНИЕ ВОДОРОДА В ЯДРЕ

На диаграмме Герцшпрунга — Рессела звезда с массой 5 солнечных большую часть своей активной жизни проводит между точками 1 и 2 (см. рисунок на стр. 20). На этой стадии в конвективном ядре звезды горит водород, причем масса ядра постепенно убывает от 22 до 8% всей массы звезды. В самом ядре энергия переносится конвекцией, и ве-

щество там полностью перемешано. От границ ядра к поверхности энергия переносится в основном излучением.

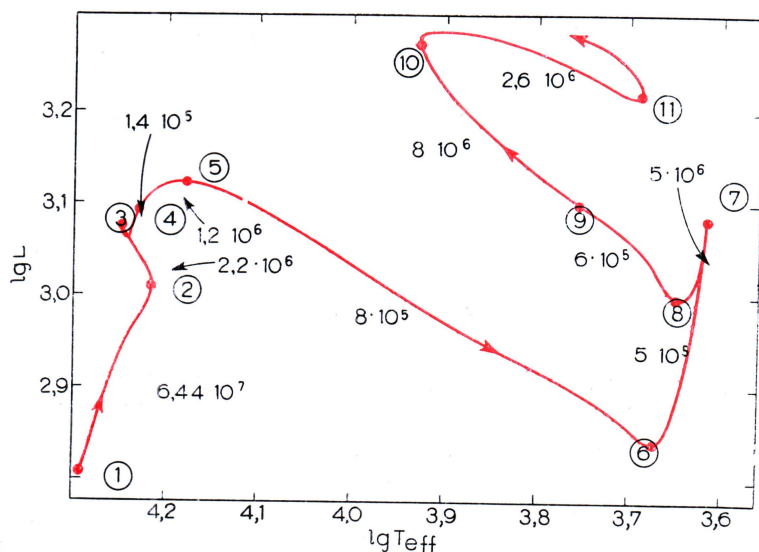
В ядре водород превращается в гелий либо в протон-протонных реакциях, либо в азотно-углеродном цикле* (для нашей звезды главным источником энергии является азотно-углеродный цикл).

В течение почти всей этой стадии вещество близ центра звезды сжимается. Это происходит потому, что в ядре, где водород (четыре протона) превращается в гелий (одна альфа-частица), уменьшается число элементарных частиц на единицу массы. Часть гравитационной энергии, освобожденной при сжатии, расходуется на усиление теплового движения, так что по мере сжатия ядро звезды нагревается. Вследствие увеличения температуры и плотности выход энергии продолжает возрастать, светимость звезды также растет, хотя ядерное топливо постепенно истощается.

Оболочка звезды, эволюционирующей от точки 1 к точке 2, расширяется, радиус звезды постепенно увеличивается с 2,4 до 4,25 солнечного радиуса. В результате расширения оболочка охлаждается.

* Обе реакции ведут в конечном счете к слиянию четырех протонов (ядер атомов водорода) в альфа-частицу (ядро атома гелия), но в первой реакции участвуют одни протоны, а во второй, кроме протонов, — ядра углерода, азота и кислорода, служащие своего рода катализаторами. В обеих реакциях выход энергии быстро увеличивается с ростом температуры и плотности. Однако азотно-углеродный цикл эффективен при более высоких температурах (выше 15—16 млн. градусов), и в этой реакции выход энергии с увеличением температуры растет гораздо быстрее, чем в протон-протонной. (Прим. переводчика.)

«Science», 155, 3764, 1967. Сокращенный перевод с английского Ю. Н. Ефремова.



ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ТРЕК ЗВЕЗДЫ с массой 5 солнечных, состав которой: 71% водорода, 27% гелия и 2% тяжелых элементов (углерода, азота и др.). По оси абсцисс (на этом и следующих рисунках) — поверхностная температура звезды, а по оси ординат — светимость, выраженная в долях светимости Солнца ($L_{\odot} = 3,86 \times 10^{33}$ эрг/сек). Вдоль всего эволюционного трека звезды представлено время (в годах), которое звезда затрачивает на переход между точками, отмеченными на треке цифрами (в кружке)

По мере того как водорода близ центра звезды становится все меньше и меньше, ядро сжимается и нагревается все быстрее. Наконец, как только звезда, эволюционируя, пройдет точку 2, она начинает сжиматься вся. Температура оболочки растет, трек звезды поворачивает влево. Конвективное ядро, сжимаясь, быстро уменьшается в размерах и исчезает на стадии 3—4, в то время как водород в центре полностью выгорает. Когда звезда достигает точки 4, масса центральных областей звезды, где водорода уже нет, составляет 7% массы звезды. В областях звезды, лишенных водорода, вещество становится почти изотермическим, т. е. температура его всюду одинакова.

Еще на стадии 3—4 область наибольшего выхода ядерной энергии сдвигается от центра (где водород уже выгорел) ближе к поверхности (где он сохранился). На стадии 4—5 ядерная энергия вырабатывается в довольно толстом слое, содержащем 5% массы звезды. Этот слой медленно перемещается к поверхности звезды, а масса области, где водород уже выгорел, возрастает.

ПУТЬ В ОБЛАСТЬ ГИГАНТОВ

Когда звезда подходит к точке 5, масса выжженного (лишенного источника энергии) ядра составляет около 10% массы звезды.

Одно лишь увеличение плотности к центру не в состоянии поддерживать в равновесии столь массивное изотермическое ядро. В результате ядро быстро сжимается, разогреваясь при этом, а оболочка расширяется — радиус звезды быстро растет. Часть энергии, производимой в слое, затрачивается на расширение оболочки, а поэтому светимость звезды падает. В точке 5 звезда покидает главную последовательность и быстро перемещается в область красных гигантов.

Расширение и охлаждение оболочки затрудняет перенос энергии излучением от слоя, в котором вырабатывается энергия, к поверхности. И вновь главенствующим механизмом переноса энергии в звезде, когда та приближается к точке 6, становится конвекция. Конвективная зона распространяется от поверхности в глубь звезды. Масса этой зоны увеличивается, а количество энергии, достигающей поверхности звезды, растет. В то же время увеличивается количество энергии, вырабатываемой в слое. Все это приводит к повышению светимости на стадии 6—7. Растет и радиус звезды; в точке 7 он составляет 74 солнечных радиуса. По мере увеличения светимости масса слоя, в котором вырабатывается энергия, уменьшается. Чем меньше масса производящей энергию области, тем больше выход энергии! — Возрастание плотности и температуры сильнее сказывается на количестве производимой в слое энергии, чем уменьшение его массы.

ГОРЕНИЕ ГЕЛИЯ В ЯДРЕ

Когда звезда достигает точки 7, температура и плотность в центре становятся достаточно высокими для начала новой ядерной реакции — тройного альфа-процесса. В ходе этой реакции три ядра гелия сливаются в ядро углерода.

«Включение» тройного альфа-процесса сопровождается слабым взрывом. Вначале температура и плотность вблизи центра столь велики, что энергии производится больше, чем может быть вынесено наружу. Энергия, попавшая в западную, заставляет расширяться центральные области. Расширение замедляет рост плотности и температуры в слое, где горит водород, который все еще является главным источником энергии звезды. Поэтому сразу же после начала горения гелия светимость звезды падает.

На стадии 7—10 оболочка звезды сжимается и поверхностная температура возрастает. Трек поворачивает влево. Это происходит потому, что главным источником энергии в звезде по-прежнему остается горение водорода в оболочке. Сохранить равновесие между расходуемой и вырабатываемой энергией можно лишь при условии, что вещество оболочки имеет достаточно высокую температуру и плотность. Так как центральные области расширяются, высокими температурой и плотностью в оболочке удается сохранить только при ее сжатии. Сжимающаяся оболочка нагревается и сжимает богатое водородом вещество на краю кольцевой зоны.

Особенно быстро оболочка сжимается между точками 8 и 9, когда она приспосабливается к новым условиям. Изменения, происходящие в оболочке, и определяют эволюцию звезды на этой стадии. Благодаря росту температуры и плотности главенствующая роль в переносе излучения внутри оболочки переходит от конвекции к излучению.

Поток энергии, вырабатываемой при горении гелия, способствует образованию в центре звезды конвективной области. Так как температура в конвективном ядре продолжает возрастать, наступает момент, когда в ядре и оболочке будет производиться примерно одинаковое количество энергии. Дальнейшая эволюция звезды вновь определяется изменениями, происходящими в ядре. Звезда опять проходит через фазу снижения поверхностной температуры (эта фаза начинается в точке 10) и опять, когда содержание гелия в ядре уменьшается, наступает фаза общего сжатия (в точке 11), аналогичная общему

сжатию звезды, происходившему между точками 2—3.

Исследование более поздних стадий эволюции звезд еще не закончено*.

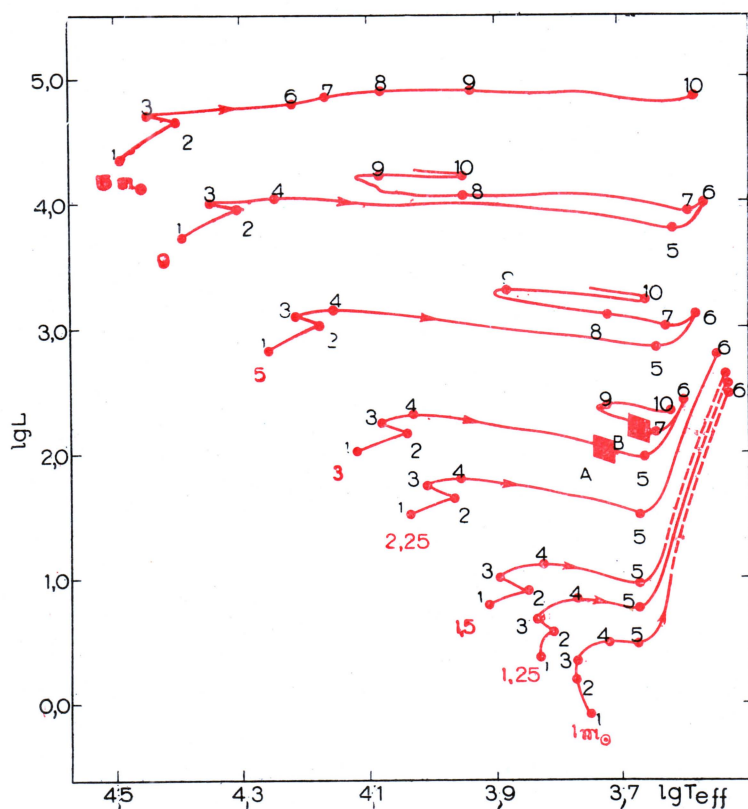
ЗАВИСИМОСТЬ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТ МАССЫ ЗВЕЗДЫ

С массой звезды связаны прежде всего ее цвет, светимость и время жизни на данной стадии. Чем массивнее звезда главной последовательности, тем она голубее (т. е. горячее), тем больше ее светимость и тем быстрее она эволюционирует. Зависимость времени жизни от массы и светимости вполне понятна: запасы ядерного топлива определяются массой звезды, а темп, с которым они расходуются, — светимостью.

Хотя структура и эволюционные характеристики звезд главной последовательности изменяются с массой постепенно, их все же можно разделить на две группы: звезды верхней и нижней части главной последовательности. Звезда с массой 5 солнечных относится к верхней части, куда входят звезды с массой, большей 1,9 солнечной. Эти звезды имеют довольно большое конвективное ядро. Возникновение его связано с тем, что в массивных звездах главным источником энергии является азотно-углеродный цикл и выработка энергии увеличивается к центру звезды. Внутри ядра благодаря конвекции повсеместно устанавливается одинаковое содержание гелия и водорода, хотя водород превращается в гелий лишь в центре. В процессе эволюции содержание водорода убывает во всем ядре. Когда водород в ядре полностью выгорает, все звезды верхней части главной последовательности испытывают общее сжатие (поворот от точки 2 к точке 3).

Звезды с массами 1,1—0,4 солнечной (в том числе и Солнце) принадлежат к нижней части главной последовательности. Энергия в этих звездах вырабатывается в протон-протонном цикле. Поток энергии близ центра невелик, поэтому энергия переносится излучением — конвективной зоны нет.

* Расчеты, выполненные Р. Киппенханом с сотрудниками, показывают, что и в дальнейшем аналогия с характером эволюции на стадии 2—4 сохраняется. Общее сжатие сменяется быстрым сжатием лишнего источника энергии ядра, состоящего теперь из углерода, и расширением внешних слоев звезды. Эволюционный трек поворачивает направо, звезда вновь быстро уходит в область красных сверхгигантов, и в ней развивается конвективная оболочка. Источником энергии звезды на этой стадии является горение гелия в оболочке. (Прим. переводчика.)



ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРЕКИ ЗВЕЗД разной массы с нормальным содержанием металлов. Пунктиром показаны те части треков, где строгие расчеты еще не проводились. Во всех случаях стадия 1—2 соответствует горению водорода в ядре. В это время звезда находится в пределах главной последовательности. Эта стадия, согласно расчетам И. Ибена, длится 2×10^7 лет у звезд с массой 9 солнечных и 7×10^8 лет у звезд солнечной массы. Время жизни в стадии сверхгиганта (5—10) составляет $3,6 \times 10^5$ лет для звезд с массой 9 солнечных и $10,6 \times 10^7$ лет для звезд с массой 3 солнечных. А и В соответствуют стадиям, которые достигли в своей эволюции компоненты кратной системы Капеллы

В звездах нижней части главной последовательности, в отличие от звезд верхней части, содержание водорода при переходе от одного слоя к другому меняется постепенно, без скачка. Разница в распределении водорода внутри звезд, относящихся к этим двум группам, и обуславливает разницу в характере эволюционных треков. У менее массивных звезд главной последовательности водород выгорает лишь в небольшой части области, где вырабатывается энергия. Поэтому эти звезды, в отличие от звезд верхней части главной последовательности, не испытывают быстрого сжатия, которое компенсирует уменьшение содержания водорода в звезде.

В звездах с массами 1,1—1,9 солнечной энергия вырабатывается как в азотно-углеродном цикле, так и в протон-протонной реакции. Поэтому эволюционные треки таких звезд обладают характеристиками треков звезд верхней и нижней части главной последовательности.

Теперь посмотрим, как изменяются у звезд различной массы эволюционные треки

в области красных гигантов. После начала горения водорода в толстом кольцевом слое все звезды с нормальным содержанием металлов, менее массивные, чем 12 солнечных, быстро перемещаются в область красных гигантов. В более массивных звездах температура в ядре становится достаточно высокой, чтобы там начал гореть гелий, прежде чем звезда достигнет области красных гигантов. Например, звезда с массой 15 солнечных остается близ главной последовательности до тех пор, пока гелий в ее ядре не выгорит почти полностью*. Затем звезда продвигается в область красных гигантов, где в ее центре начинается новая ядерная реакция — горение углерода или кислорода.

На стадии красного гиганта звезды с массами 12—2,25 солнечной и звезды с массами меньше 2,25 солнечной ведут себя по-разному. Эволюционные треки массивных звезд ничем не отличаются от трека звезды с мас-

* Этот вывод И. Ибена сейчас оспаривается. (Прим. переводчика).

сой 5 солнечных. Есть лишь небольшие количественные различия, которые могут быть важны с точки зрения интерпретации наблюдений. Например, чем больше масса звезды, тем продолжительнее фаза быстрого сжатия оболочки (между точками 7 и 8); максимальная поверхностная температура, достигаемая во время горения гелия в ядре, у более массивных звезд выше (поэтому левые концы петель эволюционных треков сдвигаются ближе к главной последовательности).

У звезд с массой меньше 2,25 солнечной электроны в лишенном водорода ядре вырождены. Давление в таком ядре — это давление вырожденного газа. Сжатие и нагревание ядра замедляются. Масса ядра, в котором весь водород выгорел, возрастает, поскольку плотность ядра медленно увеличивается. Прежде чем температура в центре станет достаточно высокой для начала горения гелия, звезда забирается на диаграмме Герцшпрунга — Рессела далеко вверх. В этот момент масса безводородного ядра (почти независимо от массы звезды) составляет 0,4 массы Солнца.

Существование вырожденного электронного газа в ядре звезд, имеющих небольшую массу, ведет к явлению гелиевой вспышки. Тепло, вырабатываемое при горении гелия, остается в вырожденном ядре и увеличивает его температуру. Возрастание температуры ускоряет темп горения гелия. Ядро все больше разогревается до тех пор, пока давление, вызванное тепловым движением частиц, не превысит давление вырожденных электронов. Вырождение снимается, ядро расширяется и охлаждается. Горение гелия протекает затем спокойно, так же как в более массивных звездах.

СРАВНЕНИЕ С КАПЕЛЛОЙ

Один из путей проверки теории — сравнение звездных моделей с кратной системой Капеллы, в которой компонент А имеет массу несколько меньшую, а компонент В — несколько большую, чем 3 солнечных. Капелла В ярче и краснее Капеллы А. Кроме того, содержание лития на поверхности Капеллы В значительно меньше, чем у Капеллы А. Все это позволяет отождествить Капеллу А со звездой, близкой к стадии красного гиганта, а Капеллу В — со звездой, в центре которой уже горит гелий, а в кольцевом слое — водород.

На стадии главной последовательности ли-

тий благодаря реакциям с протонами разрушился в 99% объема Капеллы А и В и сохранился лишь в очень тонком слое у поверхности звезд. Когда звезда приходит на стадию красного гиганта, конвекция от поверхности распространяется вглубь, за пределы слоя, в котором сохранился литий. Так как вполне определенное количество лития размешивается во все большем объеме, лития на поверхности звезды становится все меньше. Вычисления показывают, что после фазы красного гиганта (точка 6) содержание лития на поверхности по крайней мере в 60 раз меньше, чем в момент ухода звезды с главной последовательности. И именно такое соотношение лития наблюдается в компонентах Капеллы.

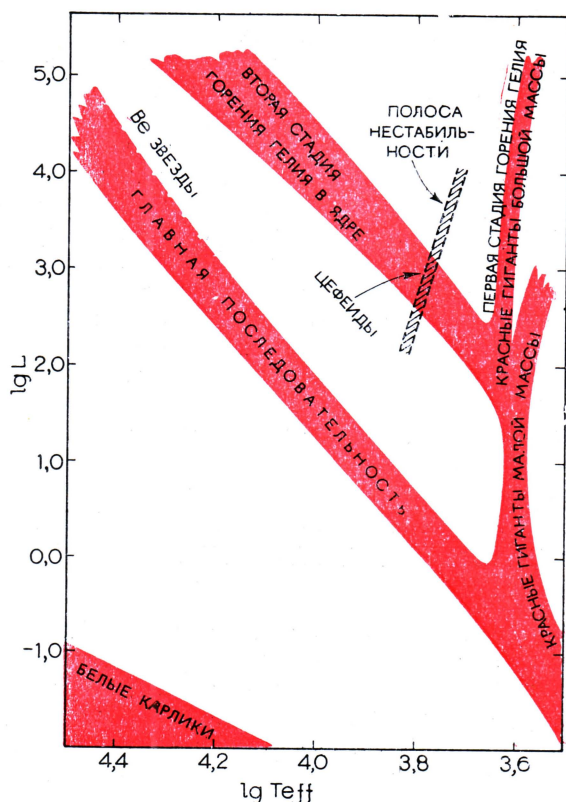
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВЕЗД НА ДИАГРАММЕ ГЕРЦШПРУНГА — РЕССЕЛА

При сравнении теории с наблюдениями важно осознать, что чем быстрее звезда проходит через какую-то область диаграммы Герцшпрунга — Рессела, тем меньше звезд там должно быть. Например, число звезд данной массы в областях диаграммы, где в ядре звезды горит гелий, должно быть в 4 или в 5 раз меньше, чем в области главной последовательности, где находятся звезды, в ядре которых горит водород.

Все следующие за горением гелия стадии ядерных реакций протекают в ядре гораздо быстрее, чем предыдущие. Поэтому единственной областью диаграммы, где теперь можно застать большое число звезд, будет область, заселенная звездами, исчерпавшими ядерные источники энергии. Прежде всего, это — область, занятая белыми карликами.

подавляющее большинство звезд, которые мы наблюдаем, лежит в полосе главной последовательности. Примерно для 100 из них известно эмпирическое соотношение между массой и светимостью, и оно хорошо согласуется с теоретическим.

Среди звезд высокой светимости, находящихся на правом краю полосы главной последовательности, встречаются голубые эмиссионные звезды (звезды Be), теряющие вещество. Теория объясняет их следующим образом. Яркие звезды главной последовательности относительно быстро вращаются. В конце стадии общего сжатия и горения водорода в кольцевом слое ядро звезды быстро сжимается. (Звезда находится в это время близ правой границы главной последователь-



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВЕЗД с нормальным содержанием металлов на диаграмме Герцшпрунга — Рассела. В заштрихованных областях, согласно теории, следует ожидать большого количества звезд, что и согласуется с наблюдениями. В области, названной «второй стадией горения гелия в ядре», массивные звезды проводят большую часть своей жизни после ухода с главной последовательности.

ности.) Чтобы сохранить угловой момент, звезда должна увеличить скорость вращения, но если эта скорость станет слишком большой, вещество близ экватора уже не удерживается силами гравитации и звезда теряет вещество. Затем структура звезды изменяется таким образом, что скорость вращения падает и выброс вещества прекращается. Звезды Ве теряют вещество лишь на определенной стадии эволюции, поэтому они сосредоточены в узкой полосе диаграммы Герцшпрунга — Рассела.

После звезд главной последовательности наиболее многочисленными являются белые карлики*. Плотность этих звезд столь велика, что в большей части их внутренних областей электроны вырождены. Поэтому радиусы белых карликов остаются почти постоянными и не зависят от распределения температуры внутри. Эти звезды постепенно остывают — температура их падает.

Обилие белых карликов в Галактике позволяет предполагать, что очень многие звезды

самой различной массы заканчивают свою активную жизнь на стадии белого карлика. Однако у большинства белых карликов масса меньше солнечной, и, следовательно, многие звезды, прежде чем стать белыми карликами, должны потерять часть своей массы. Механизм потери массы пока еще не ясен.

Следующие по многочисленности — красные гиганты, которые произошли от звезд главной последовательности с массой, меньшей 2,25 солнечной. Этого и следовало ожидать с точки зрения теории, которая предсказывает, что такие звезды достигают ветви гигантов до начала горения гелия в ядре. А когда в их ядре горит гелий, они перемещаются вдоль ветви гигантов.

И еще одну особенность в распределении звезд на диаграмме Герцшпрунга — Рассела легко объясняет теория. Почему большинство цефеид имеют светимость, близкую к 1000 (в единицах светимости Солнца)? Согласно расчетам, при данной светимости оболочка звезды может пульсировать с большой амплитудой, если только поверхностная температура заключена в узких пределах. Поэтому область диаграммы Герцшпрунга — Рассела, где могут происходить пульсации с большой амплитудой, — «полоса нестабиль-

* Белых карликов известно немного. Но, учитывая их низкую светимость, не приходится сомневаться, что реальное количество белых карликов должно быть очень велико. (Прим. переводчика.)

ности» — очень узкая. Вне полосы нестабильности всякая пульсация быстро затухает. Большинство цефеид должно располагаться на пересечении «полосы нестабильности» со второй стадией горения гелия в ядре, где звезды находятся достаточно долго. Этим и обусловлено наблюдаемое распределение цефеид по светимости. Теория объясняет и многие другие характеристики цефеид.

СРАВНЕНИЕ СО ЗВЕЗДАМИ СКОПЛЕНИЙ

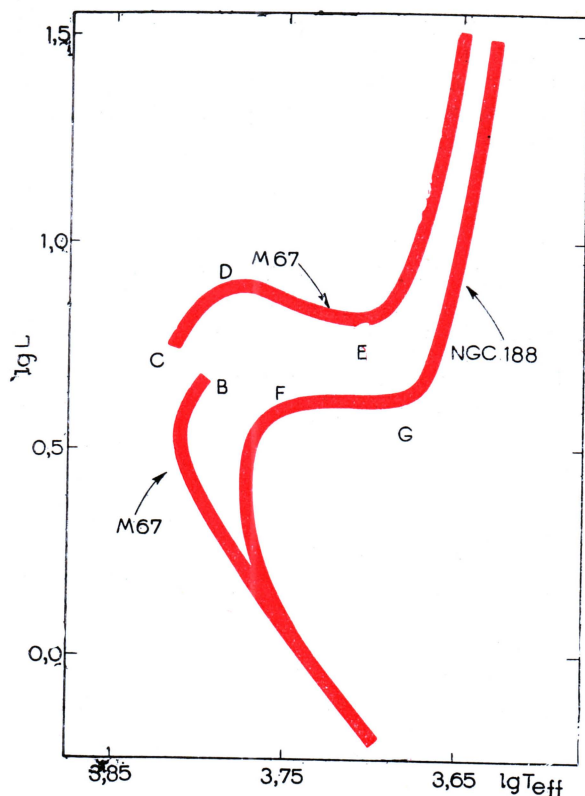
Один из наиболее изящных способов проверки теории дают звездные скопления, так как в первом приближении все звезды скопления имеют один и тот же возраст и химический состав.

Для моделей звезд с разными массами может быть построена линия равного возраста, соединяющая точки эволюционных треков, достигаемые за одно и то же время. Посколь-

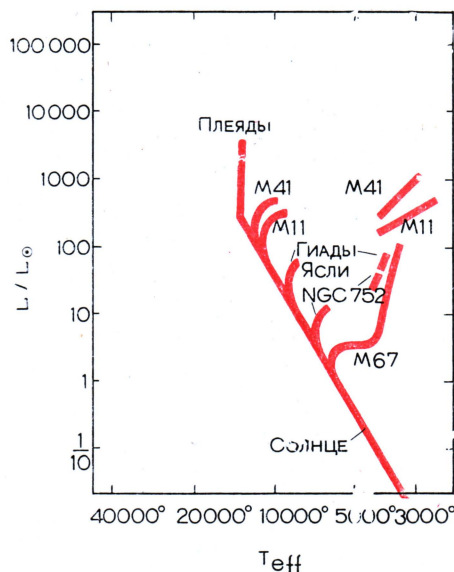
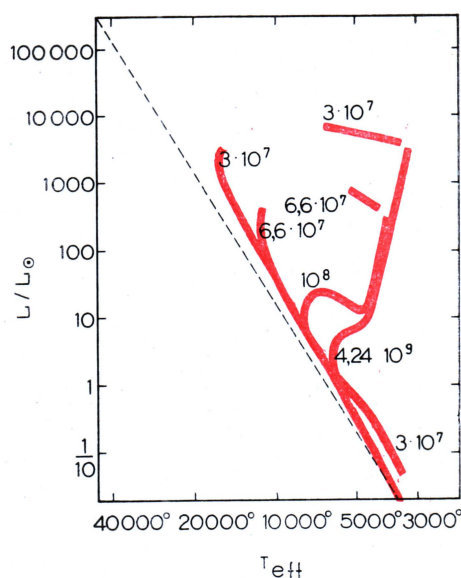
ку звезды скопления имеют один и тот же возраст, линия, проходящая через эти звезды на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, и должна быть наблюдаемой линией равных возрастов. Располагая набором теоретических линий равных возрастов, можно выбрать из них такую, которая наилучшим образом представит диаграмму данного скопления. Возраст скопления будет соответствовать времени, для которого была построена эта линия.

В принципе, конечно, можно рассчитать линии равного возраста для количественного сопоставления с диаграммами Герцшпрунга — Рассела скоплений. Но это потребует очень больших вычислений. Можно и облегчить задачу: сравнить диаграммы скоплений с эволюционными треками лишь тех звездных моделей, массы которых соответствуют самым массивным звездам скопления, и уже отсюда оценить возраст скопления.

Сравнение диаграмм Герцшпрунга — Рассела для старых скоплений М 67 и NGC 188



ДИАГРАММЫ ГЕРЦШПРУНГА — РЕССЕЛА старых скоплений М 67 и NGC 188. В области субгигантов (между С и Е и F и G) звезды М 67 ярче звезд NGC 188. Это означает, что ушедшие с главной последовательности звезды М 67 массивнее, чем соответствующие звезды NGC 188 и, следовательно, скопление М 67 моложе, чем NGC 188. На диаграмме М 67 участок С — В населен гораздо беднее других областей главной последовательности и ветви субгигантов скопления, так как темп эволюции между этими точками намного больше, чем темп, с которым звезды приходят к точке В или уходят от точки С



ДИАГРАММЫ ГЕРЦШПРУНГА — РЕССЕЛА звездных скоплений разного возраста — от 3×10^7 до $4,24 \times 10^9$ лет, рассчитанные Р. Киппенханом (слева) и наблюдаемые (справа). Основные особенности на диаграммах совпадают. Пробел между главной последовательностью и красными сверхгигантами сохраняется, хотя массивные звезды неоднократно в процессе эволюции его пересекают. Это обусловлено быстрой эволюцией между двумя фазами горения гелия в ядре

с теоретическими эволюционными треками показывает, что яркие звезды М 67 имеют массу около 1,25 солнечной, а звезды NGC 188 — около 1 солнечной. Возраст скопления М 67 оказался равным $5,5 \times 10^9$ лет, а NGC 188 — 11×10^9 лет. Разрыв главной последовательности на диаграмме М 67 объясняется тем, что этот участок соответствует стадии быстрой эволюции (общего сжатия звезды), наблюдающейся у звезд с массой, большей или равной 1,25 солнечной, перед уходом их с главной последовательности. Отсутствие этого пробела на диаграмме NGC 188 также свидетельствует, что звезды этого скопления менее массивны, и само скопление старше, чем скопление М 67.

Эти примеры показывают, что теория может объяснить детали диаграмм звездных скоплений и многие особенности характеристик звезд. Следовательно, физическая теория, использованная в расчетах моделей звезд, достаточно полна.

ЧТО ЧИТАТЬ ПО ТЕМЕ СТАТЬИ:

1. С. А. Каплан. Физика звезд. Физматгиз, 1961.
2. Ю. Н. Ефремов. Жизнь звезд. «Земля и Вселенная», № 2, 1965.
3. Ю. Н. Ефремов. Поздние стадии звездной эволюции. «Астрономический календарь» на 1969 год. «Наука», 1968.

Странности в спектрах квазаров

Б. В. КОМБЕРГ

Почему в спектрах далеких квазаров удается отождествить линии поглощения, лишь допустив два, три, а то и пять разных красных смещений? Почему у некоторых квазаров линии поглощения смещены в длинноволновую сторону от линий излучения, а у остальных — в коротковолновую? Это только две из множества загадок, с которыми столкнулись исследователи квазаров.

За шесть лет, прошедших со времени открытия квазаров, исследователи узнали много необычного об этих загадочных телах Большой Вселенной. Квазары оказались самыми далекими, самыми яркими, самыми компактными и самыми «непостоянными» из известных астрономам объектов, находящихся вне нашей звездной системы.

О том что квазары расположены далеко за пределами Галактики, узнают по красному смещению линий в их спектрах. Еще в 1929 г. американский астроном Э. Хаббл показал, что далекие галактики удаляются от нас, причем с тем большей скоростью, чем дальше они находятся. Сейчас установлено, что с увеличением расстояния на 1 Мегалпарсек ($1 \text{ Мпс} = 10^6 \text{ пс} = 3 \cdot 10^{24} \text{ см}$), скорость разбегания возрастает примерно на 75 км/сек .

В модели расширяющейся Вселенной, предложенной в 20-е годы нашего века советским математиком А. А. Фридманом, наблюдаемое красное смещение линий в спектрах далеких объектов объясняется доплеровским смещением. Физикам давно было известно, что если источник излучения линий с длиной волны λ_0 удаляется от наблюдателя со скоростью v , то приемник будет фиксиро-

вать измененную длину волны $\lambda \approx \lambda_0 (1 + \frac{v}{c})$

где c — скорость света (эта формула верна пока $v \ll c$). Так как $\lambda > \lambda_0$, то говорят, что источник «покраснел». Изменение длины волны излучения характеризуется в астрономии

$$\text{величиной } z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \approx \frac{v}{c},$$

носящей название — красное смещение.

Самую богатую информацию о квазарах астрономы получают, «расшифровывая» их спектры. К настоящему времени удалось расшифровать спектры около 200 квазаров. В их спектрах видны линии излучения очень многих элементов и ионов — от водорода до железа. Кроме линий излучения в спектрах некоторых квазаров встречаются линии поглощения. Причем красное смещение, определяемое по линиям излучения $z_{\text{изл.}}$, больше, чем красное смещение линий поглощения $z_{\text{погл.}}$, т. е. линии поглощения обычно смещены в коротковолновую сторону от линий излучения. Такую картину можно наблюдать, если линии поглощения образуются в разлетающемся веществе, окружающем квазар. О скоростях разлета вещества можно судить по разности $z_{\text{изл.}} - z_{\text{погл.}}$. Скорости оказались очень велики — до $10\,000 \text{ км/сек}$!

Но такая упрощенная модель квазара — центральное компактное массивное ($10^6 - 10^8$ масс Солнца) образование наподобие ядер галактик, окруженное разлетающимся веществом, — не смогла объяснить некоторые новые экспериментальные данные. Оказалось, что спектры отдельных далеких квазаров с большим числом линий поглощения не удается отождествить с каким-либо одним красным смещением и, кроме того, в спектрах некоторых квазаров линии поглощения сме-

щены не в коротковолновую сторону от линий излучения (как обычно), а в длинноволновую, т. е. $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$.

Впервые с невозможностью отождествления линий в спектре квазара с одним красным смещением столкнулся, по-видимому, К. Линдс в 1966 г. При расшифровке спектра квазара PHL 5200* ему пришлось ввести три разных красных смещения для линий излучения: $z_{\text{изл. 1}} = 1,98$, $z_{\text{изл. 2}} = 1,94$ и $z_{\text{изл. 3}} = 1,90$.

Однако не только эти странности оказались у квазара PHL 5200. На спектрограммах, полученных американской исследовательницей Е. М. Бербидж в 1968 г., заметно, что вид спектра квазара существенно изменился: линии излучения, соответствующие $z_{\text{изл. 1}}$ и $z_{\text{изл. 2}}$, исчезли, а появились линии поглощения с $z_{\text{погл.}} = 1,95$.

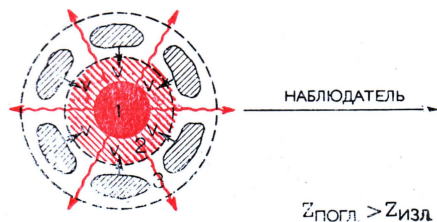
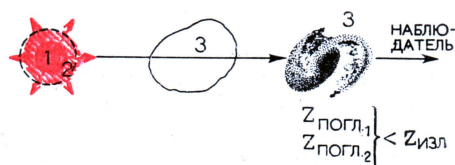
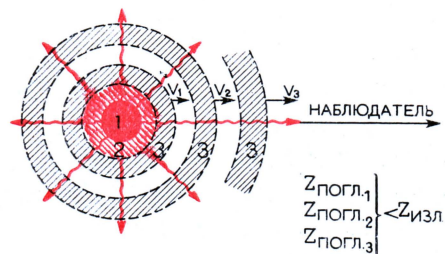
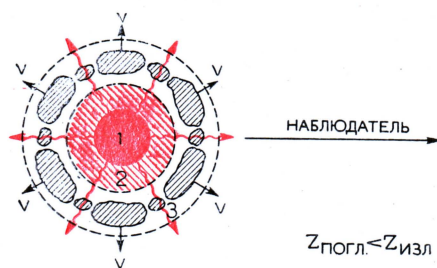
Но самые удивительные явления исследователи обнаружили при отождествлении линии поглощения в спектре квазара PKS 0237-23**. Первые спектрограммы этого объекта также были получены Е. М. Бербидж. В этих спектрах линиям излучения соответствовало $z_{\text{изл.}} = 2,22$. С отождествлением же линий поглощения дело обстояло хуже: с $z_{\text{погл.}} = 1,95$ удалось отождествить только восемь линий из 20.

Следующую попытку разобраться в спектре этого объекта предприняли Х. Арп, Дж. Болтон и Т. Кинман. В спектре квазара PKS 0237-23, полученном на 5-метровом телескопе Маунт Паломар, они сумели из 33 линий поглощения отождествить 27 с $z_{\text{погл.}} = 2,20$. Правда, для этого потребовалось допустить, что в спектре есть линии тяжелых элементов, таких, как титан и кобальт. Немного позже Дж. Гринстейн и М. Шмидт предложили на основе изучения новых спектрограмм компромиссный вариант — отождествлять линии с двумя системами красных смещений: $z_{\text{погл. 1}} \approx 2,20$ и $z_{\text{погл. 2}} \approx 1,95$. Таким образом удалось отождествить почти все более или менее сильные линии поглощения в спектре PKS 0237-23.

Однако правильность именно такого отождествления все же вызывала сомнения. Поэтому попытки расшифровать спектр квазара PKS 0237-23 не прекращались. Особенно примечательна работа молодого американского теоретика Дж. Бакалла, который более

* PHL 5200 — объект под соответствующим номером в Паломарском каталоге объектов типа Харо — Лейтена.

** Радиисточник с координатами $\alpha = 02^h 37^m$ и $\delta = -23^\circ$ из Паркского каталога.



МОДЕЛИ КВАЗАРА. 1 — ядро квазара с массой 10^6 — 10^8 солнечных. Ядро служит мощным источником оптического и радиоизлучения; 2 — область, где образуются линии излучения; 3 — области, в которых образуются линии поглощения

тщательно проанализировал спектры этого квазара. Бакалл разработал тест, на основании которого с помощью электронно-вычислительной машины можно было найти наиболее вероятные отождествления линий. Из 47 линий машина сумела отождествить 31 (из которых 6 отождествлялись неуверенно) с пятью разными красными смещениями: $z_{\text{погл. 1}} \approx 2,2015$, $z_{\text{погл. 2}} \approx 1,6706$, $z_{\text{погл. 3}} \approx 1,656$, $z_{\text{погл. 4}} \approx 1,5132$ и $z_{\text{погл. 5}} \approx 1,3642$.

Недавно Е. М. Бербидж, К. Линдс и А. Стоктон получили новую серию спектрограмм этого объекта. Из 92 линий поглощения они отождествили 33 линии с $z_{\text{погл. 1}} = 1,3646$, $z_{\text{погл. 2}} = 1,9556$ и $z_{\text{погл. 3}} = 2,2017$. А для отождествления остальных линий потребовалось бы ввести еще пять разных $z_{\text{погл.}}$ в диапазоне от 1,596 до 1,952.

Е. М. Бербидж, К. Линдс и А. Стоктон получили спектры еще двух квазаров Топ 1530* и PHL 938. В них также удалось провести удовлетворительное отождествление линий поглощения только при введении нескольких $z_{\text{погл.}}$.

Так, постепенно, под давлением все новых и новых фактов исследователям пришлось отказаться от простой модели оболочки квазара, в которой все линии поглощения можно было отождествлять при постоянном красном смещении.

Какое же, хотя бы в принципе, можно найти объяснение «мультиплетности» красного смещения для линий поглощения? Определенного ответа на этот вопрос пока нет. Есть только различные предположения. Например, если бы квазар был окружен оболочками, разлетающимися с разными скоростями, то в каждой из них могла бы образоваться система линий поглощения со своим красным смещением. Другая возможность — системы линий поглощения образуются в галактиках или облаках межгалактического газа, расположенных на луче зрения на разных расстояниях от наблюдателя. Не исключено, конечно, что в действительности реализуется какой-либо промежуточный случай.

Трудности в объяснении многих систем линий поглощения так велики, что отдельные исследователи не оставляют еще попыток такого переотождествления линий, которое привело бы к одному $z_{\text{погл.}}$. Они считают, что атомы и ионы различных элементов, находясь в необычных условиях вблизи квазара, могут изменить структуру атомных уровней, а поэтому и их спектр поглощения может изменить свой вид. Но к какому-то определенному пониманию процессов, происходящих в оболочках квазаров, такой подход еще не привел. Хотя не исключено, что именно на этом пути будут достигнуты важные результаты.

Пока известно всего семь квазаров, в спектрах которых $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$ (см. таблицу).

КВАЗАРЫ, В СПЕКТРАХ КОТОРЫХ $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$

Объекты	$z_{\text{погл.}}$	$z_{\text{изл.}}$	$v_{\text{отн.}}$ (км/сек)
PKS 1129-02	0,394	0,389	780
PKS 0812-02	0,426	0,402	6900
3C 205	1,538	1,534	700
PKS 0419-04	1,966	1,949	1700
Топ 1530	2,055 (?)	2,046	800
PKS 0056-17	2,144	2,125	2300
4C 25.5	2,368	2,358	1300

Примечание: связь между v и z очень проста $v \approx c \cdot z$, если $v \ll c$ (или $z \ll 1$). В других случаях

$$v = c \cdot \left[\frac{(1 + z_{\text{погл.}})^2 - (1 + z_{\text{изл.}})^2}{(1 + z_{\text{погл.}})^2 + (1 + z_{\text{изл.}})^2} \right].$$

Как видно из таблицы, во всех известных случаях $(z_{\text{погл.}} - z_{\text{изл.}}) < 0,024$. Это соответствует разности в скоростях меньше 7000 км/сек. Заметим, что в «обычных» случаях, когда $z_{\text{изл.}} > z_{\text{погл.}}$, разности в скоростях бывают значительно больше. Например, для PHL 938 $(z_{\text{изл.}} - z_{\text{погл.}}) \approx 1,36$, что формально соответствует разности скоростей примерно 0,5 скорости света.

«Обычные» случаи с $z_{\text{изл.}} > z_{\text{погл.}}$ в спектрах квазаров не вызывали у астрономов особого недоумения потому, что с похожей ситуацией они уже давно сталкивались при анализе спектров некоторых звезд. Так, в спектрах звезд типа Вольф — Райе или горячих звезд спектрального класса О и В линии поглощения тоже смещены по отношению к линиям излучения в коротковолновую область. Как в звездах, так и в квазарах это может быть вызвано тем, что линии поглощения образуются в расширяющихся оболочках. Разница только та, что скорости расширения оболочек квазаров, по-видимому, выше. Но как тогда объяснить, что в спектрах семи квазаров наблюдается обратное соотношение:

$$z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}?$$

Самый простой путь — предположить, что в этих «аномальных» случаях линии поглощения образуются не в расширяющихся оболочках, а в «схлопывающихся», т. е. холодное вещество не разлетается от ядра, а падает на него. Ясно, что тогда $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$, так как к космологической скорости удаления объекта от наблюдателя (соответствующей $z_{\text{изл.}}$) прибавится еще и скорость падения вещества. Такое объяснение, в общем, приемлемо. Правда, есть некоторые неувязки. Например, в спектре объекта Топ 1530 как будто на-

* Объект соответствующего номера из списка обсерватории Тонантцигла.

блюдаются системы линий поглощения с $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$ и с $z_{\text{погл.}} < z_{\text{изл.}}$. Тогда приходится допускать, что в одном и том же объекте есть вещество, удаляющееся от ядра и падающее на него. А это уже как-то слишком сложно.

К проблеме объектов, в спектрах которых наблюдается $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$, возможен и несколько иной подход. Дело в том, что похожая ситуация характерна для квазаров, в спектрах которых заметны звездные* линии поглощения однажды ионизованного кальция, так называемые Н- и К-линии. В спектрах таких квазаров (а их известно всего несколько) красное смещение, определяемое по линиям поглощения кальция, больше красного смещения линий излучения. Из этих фактов, если они подтвердятся более тщательными исследованиями, можно сделать далеко идущие выводы о наличии в квазарах звездной компоненты. Эта компонента

не проявляется в излучении на фоне более мощного излучения незвездной природы, но дает о себе знать по линиям поглощения Н и К. Вероятно, звездная компонента по размерам гораздо больше незвездной.

Объяснить, почему $z_{\text{погл.}}$ (Н и К) $> z_{\text{изл.}}$, можно, лишь предположив, что линии излучения образуются в разлетающемся от ядра веществе, а линии Н и К — в относительно неподвижной и обширной звездной компоненте. Но ведь в газе этой звездной компоненты могут, по-видимому, образовываться не только линии Н и К, но и линии поглощения других элементов. Поэтому не исключено, что особенность $z_{\text{погл.}} > z_{\text{изл.}}$ спектров некоторых квазаров связана именно с такой звездной компонентой.

Мы пока все еще далеки от понимания природы квазаров. Не можем дать достоверный ответ и на вопрос о структуре этих объектов Вселенной. Трудности в интерпретации спектров квазаров еще раз подтверждают это. Однако преодоление кризиса, который явно наметился за последний год в спектроскопии квазаров, на наш взгляд, не может не приблизить решение проблемы.

* Звездными эти линии называют потому, что они присутствуют в атмосферах холодных звезд и в межзвездном газе нашей Галактики.



МЕЖЗВЕЗДНЫЙ АММИАК

В маленьком облаке межзвездной пыли, лежащем в направлении на центр нашей Галактики (созвездие Стрельца), группой ученых под руководством профессора Ч. Таунса (США) были обнаружены молекулы аммиака.

Эмиссионная линия аммиака наблюдалась в сантиметровом диапазоне на прецизионном 60-метровом радиотелескопе станции Хот Крик Калифорнийского университета.

Молекула аммиака по форме похожа на зонтик без ручки. Атом азота находится в центре этого зонтика, а три атома водорода расположены «по углам». Излучение в сантиметровом диапазоне возникает при колебаниях, когда зонтик то «выворачивается наизнанку», то принимает прежний вид.

Размеры источника излучения аммиака примерно 3". Поперечный облака, в котором исследователи нашли аммиак, по-видимо-

му, составляет всего несколько световых лет, и количество аммиака в нем может достигать одной молекулы в 1000 см³. Измерения показывают, что молекулы аммиака попадают там примерно в миллион раз реже, чем молекулы водорода. Можно полагать, что приблизительно 1% всего имеющегося азота связан в молекулах аммиака. Замечательно, что в этом же облаке наблюдаются сильные линии поглощения молекул гидроксила. Таунс и его сотрудники нашли в той же области неба довольно много и других облаков, содержащих аммиак.

Интенсивность спектральных линий аммиака свидетельствует, что температура в облаке около 25° К. Таким образом, эти молекулы становятся своеобразными «термометрами» для межзвездного пространства, которые помогут нам узнать, что происходит в этих «укромных уголках» Космоса.

Каким же образом в межзвездном пространстве появились молекулы аммиака? Профессор Таунс полагает, что эти молекулы образовались при адсорбции атомов азота и водорода на частицах межзвездной пыли, где они связываются благодаря поверхностным силам. Впоследствии атомы могут высвободиться путем сублимации или в результате бомбардировки пылинки корпускулами или фотонами. Молекулы аммиака разрушаются под действием ультрафиолетового излучения звезд, однако большая протяженность пылевого облака может послужить им достаточной защитой.

Аммиак — неперенная составляющая того первичного «бульона», с которого, по-видимому, начинается развитие жизни на планетах. Вполне вероятно, что атмосфера Земли содержала этот газ. Известно, что он имеется на Юпитере и Сатурне. Таким образом, плотные межзвездные облака, быть может, являются ранними стадиями развития звезд и планетных систем.

«Physical Review Letters», December, 16, 1968.

АЛМАЗЫ В МЕЖЗВЕЗДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

До сих пор астрономы не пришли к единому мнению о составе космических пылинок, поглощающих свет звезд. Пылинки из чистого графита недостаточно поглощают излучение в далекой ультрафиолетовой области спектра. Пылинки ледяные или с ледяной оболочкой должны давать спектральные полосы в инфракрасной области спектра, но эти полосы не наблюдаются.

Если же предположить, что межзвездные пылинки состоят из углерода, но с иной, чем у графита, кристаллической структурой — в форме алмаза, то такая модель пылинок лучше соответствует наблюдательным данным. Эти пылинки могут «выживать» в облаках горячего ионизованного газа. Алмазная пыль, как и графитовая, возможно, образуется из углерода на поверхности некоторых холодных звезд.

Дальнейшие наблюдения и теоретические расчеты свойств алмазной пыли смогут подтвердить или опровергнуть эту интересную гипотезу.

«Nature», 221, 1576, 1969.

РУСЛА ЛУННЫХ РЕК?

Извилистые бороздки на поверхности Луны обнаружены давно. Их наблюдал еще Христиан Гюйгенс в 1686 г. Более 80 лет назад была высказана мало кем разделявшаяся идея о том, что эти объекты — русла пересохших рек. Крупномасштабные изображения лунной поверхности, полученные с искусственных спутников Луны, побудили американского физика Гарольда Юри предложить вновь вернуться к уже забытой гипотезе. Извилистые бороздки на поверхности Луны поразительно напоминают речные долины с меандрами и старицами, а не разломы, лавовые излияния и т. п.

На собрании Американского астрономического общества, со-

стоявшемся в конце 1968 г., обсуждалось предположение о том, что бороздки образованы излившимися глубинными водами. На Луне, под поверхностными слоями вечной мерзлоты и рыхлого материала, возможно, существует километровый пласт, насыщенный влагой. При ударе метеорита или тектоническом разломе вода под давлением прорывается наружу. На Луне, как известно, нет атмосферы, но, вопреки распространенному мнению, вода там не испарится мгновенно: возникнет бурное кипение, требующее затрат тепла, жидкость охладит-

ся и покроется толстым слоем льда. Лед будет сублимировать, но довольно медленно. Образуется водно-грязевой поток шириной в сотни метров, покрытый ледяным панцирем. Русла лунных рек могли быть сформированы, если бы расход этого потока заключался в пределах 10—1000 м³/сек и сохранялся таким в течение 10—1000 лет.

Пока не ясно, насколько соответствует истине предполагаемое объяснение происхождения лунных бороздок.

«Sky and Telescope», 37, 2, 1969.



ИЗВИЛИСТЫЕ БОРОЗДКИ с характерными меандрами к северо-востоку от кратера Гассенди. Размер кадра по вертикали около 140 км

ПОДВОДНЫЙ ОБЛИК ОКЕАНА

Н. А. МАРОВА

кандидат географических наук

Батиметрические карты — знакомые многим изображения подводного рельефа. Но можно ли на этих картах «увидеть» все детали? — Конечно, нет. В последние годы признание получили физиографические карты, на которых объемно изображаются все неровности причудливо расчлененного океанического дна.

Океан... Известный многие тысячелетия, он и поныне ревниво хранит свои тайны. Еще в 20-х годах существовало очень упрощенное представление о строении дна океана. В наши дни высокоточные эхолоты-самописцы, подводное телевидение и фотографирование дна, а также непосредственные наблюдения из батискафов и с подводных лодок помогают «увидеть» морское дно. Благодаря интенсивным исследованиям все яснее вырисовывается облик необозримых просторов подводного мира.

ЧТО ТАКОЕ БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ КАРТЫ?

Батиметрическая карта — самый распространенный вид картографирования подводного рельефа. На них рельеф изображается линиями, соединяющими точки равных глубин, — **изобатами**. Если мысленно пересечь подводную гору параллельными горизонтальными плоскостями, отстоящими друг от друга на определенном расстоянии (величина сечения), и спроецировать линии пересечения на плоскость карты, — это и будут изобаты. Обычно их дополняют отдельными характерными отметками глубин.

На батиметрических картах выделяются основные части подводного рельефа, общие для всех океанов. Между собой они отличаются положением относительно материков или границ океанов, глубиной и характер-

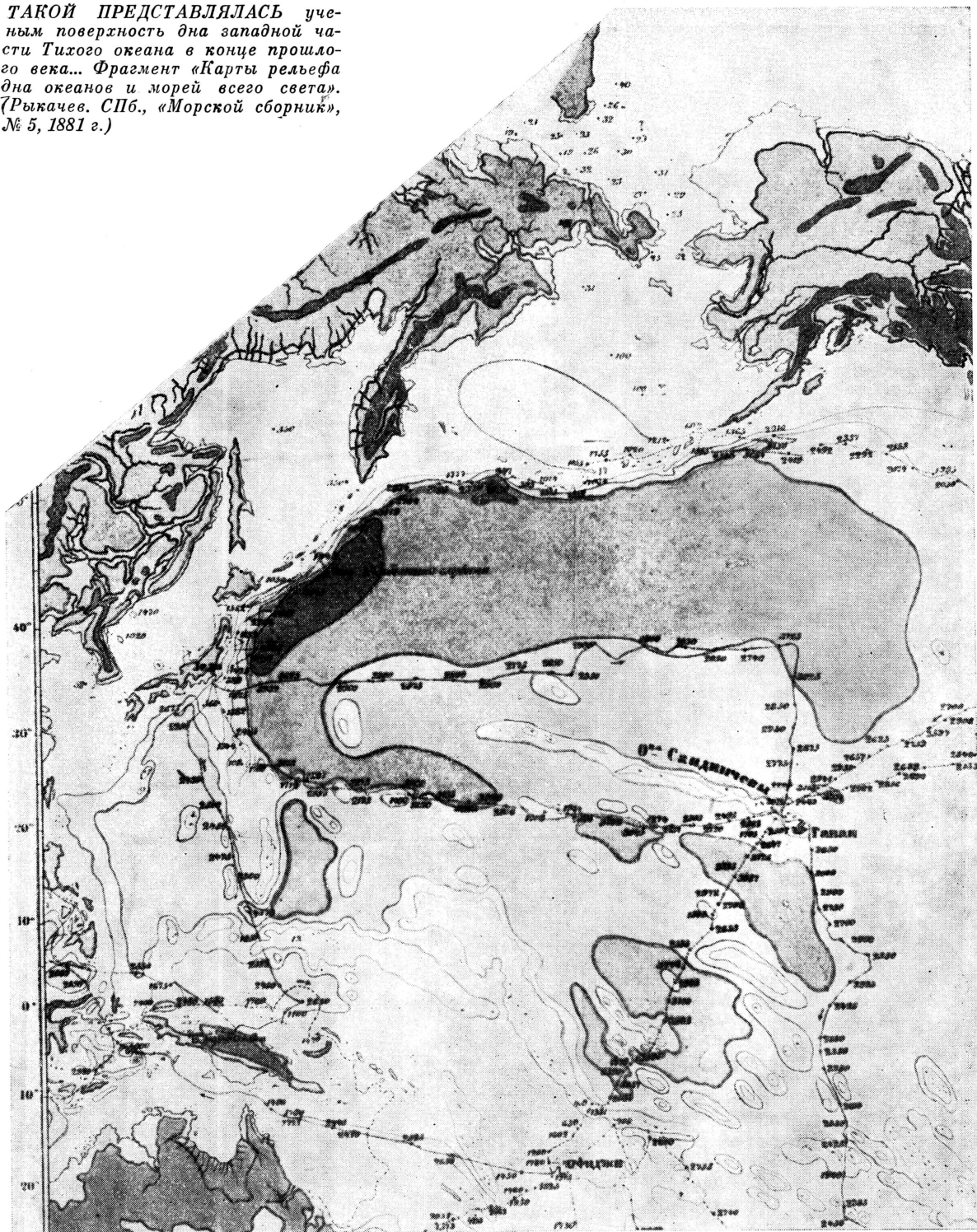
ными формами рельефа. Это: материковая отмель, переходная зона от материка к ложу океана, ложе океана и срединно-океанические хребты. В пределах этих зон располагаются крупные формы рельефа: горы, хребты, островные дуги, валы, возвышенности. Смыкаясь друг с другом и иногда образуя почти непрерывные ряды, они делят ложе океана на замкнутые котловины.

На дне океана есть множество малых неровностей, которые на батиметрических картах мелких масштабов почти незаметны. Чем мельче масштаб карты, тем больше величина сечения рельефа. Как правило, для батиметрических карт мелких масштабов выбирается величина сечения 1000 м и, в редких случаях, — 500 м. На такой карте удастся изобразить детали рельефа, относительная высота которых превышает 500—1000 м. Неровности меньших размеров останутся незамеченными. Несмотря на это, батиметрические карты являются сейчас основным источником сведений о подводном рельефе. Именно по ним можно измерять относительные высоты форм и занятые ими площади, определять углы наклона, строить другие специальные карты.

НУЖНЫ ЛИ ДРУГИЕ КАРТЫ?

Мелкомасштабные батиметрические карты не со всей подробностью передают действительный облик подводного рельефа. Кроме того, они недостаточно «наглядны» и не каж-

ТАКОЙ ПРЕДСТАВЛЯЛАСЬ ученым поверхность дна западной части Тихого океана в конце прошлого века... Фрагмент «Карты рельефа дна океанов и морей всего света». (Рыкачев. СПб., «Морской сборник», № 5, 1881 г.)



дый может одинаково легко «читать» их. А между тем проблемы использования богатств океана, нужды подводного флота и рыболовного промысла требуют очень подробных сведений о поверхности океанического дна. Анализ характера поверхности дна важен и для решения теоретических вопросов, связанных с происхождением и развитием океанов, с проблемой дрейфа континентов и т. д.

Один из способов создания модели, близкой к истинной поверхности дна океана, — перспективный метод изображения рельефа на **физиографических картах**, который позволяет наглядно, объемно показать подводный рельеф и передать расчлененность дна.

Первые физиографические карты подводного рельефа составлены американскими учеными Б. Хейзенем и М. Тарп в 1959—1961 гг. для Атлантического океана, а в 1964 г. — для Индийского и Г. Менардом в 1964 г. для северо-восточной части Тихого океана. В 1966 г. у нас в «Атласе Антарктики» была опубликована обзорная физиографическая карта «Тихоокеанского сектора Южного океана».

Учитывая большие возможности физиографических карт дна океана, а также некоторые недостатки в методе их составления, в Институте океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР под руководством доктора географических наук Г. Б. Удинцева с 1964 г. начал разрабатываться новый метод физиографического картографирования подводного рельефа. Вновь созданный метод позволил не только наглядно и подробно изобразить дно океана, но и строго обосновать все смещения в перспективном изображении и сохранить истинное взаимное расположение форм подводного рельефа. Конечно, на такой карте невозможна подробная детализация рельефа без обобщений, но способ художественной дорисовки помогает наглядно представить внешний вид наиболее характерных типов поверхности. Физиографическую карту можно читать, не имея того опыта, который необходим для расшифровки батиметрической карты. И не нужно будить воображение, чтобы представить: а что же кроется под голубыми слоями между изображениями? Карта все рассказывает сама.

Для составления физиографических карт используются все сведения о рельефе дна: эхограммы — записи самописцев глубин; построенные по эхолотным измерениям профили; батиметрические, геоморфологические и тектонические карты; подводные фотогра-

ПУТЕШЕСТВИЕ ПО ПОДВОДНЫМ РАВНИНАМ

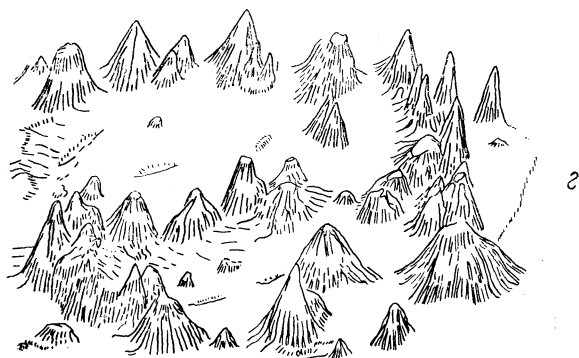
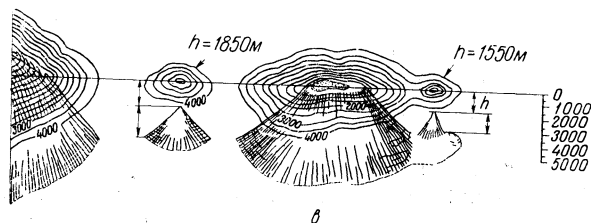
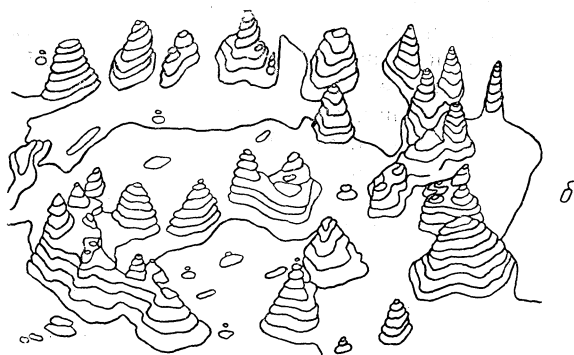
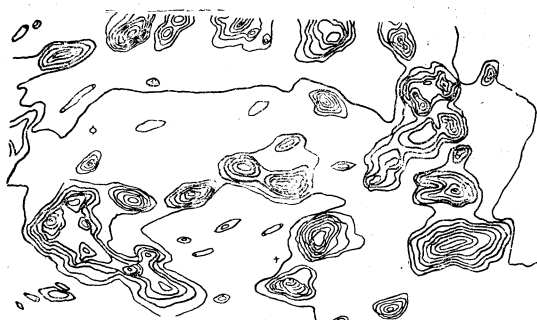
Западная часть Тихого океана — интереснейший для геологов район Мирового океана. Подводные формы рельефа здесь удивительно многообразны: огромная переходная зона между материком и океаном с глубоководными океаническими желобами (среди них самый глубокий желоб Мирового океана — Марианский) рядом с островными дугами — одинарными и двойными, с котловинами морей; а дальше — необозримые равнины.

Наиболее распространенные поверхности — **холмистые равнины**. Холмы куполообразной формы, высотой от нескольких десятков до 500 м и диаметром от 1,5 до 15 км, заполняют их площади. Расположены эти равнины по периферии ложа океана и в некоторых котловинах переходной зоны, за пределами глубоководных океанических желобов. И это не случайно. Взгляните на физиографическую карту: осадки, поступающие с материка, в значительной степени улавливаются котловинами морей и глубоководными океаническими желобами. Лишь крутые уступы склонов, неспособные удержать мощный осадочный слой, остаются расчлененными. За пределы цепочки глубоководных желобов осадки с материка поступают в значительно меньшем количестве. Поэтому здесь сохраняются холмистые равнины, покрытые лишь тонким осадочным слоем.

В западной части океана встречаются и совершенно **плоские равнины** — самые **выровненные участки нашей планеты**. Уклон их составляет всего лишь несколько десятков секунд или несколько минут. Первичный рельеф здесь, в прошлом неровный, сейчас полностью перекрыт осадками. Плоские равнины свидетельствуют об интенсивном поступлении осадочного материала, который разносится суспензионными потоками вдоль поверхности дна в наиболее глубокие части. Такие равнины есть в котловинах Охотского, Берингова и Японского морей; самая обширная из них — плоская равнина Берингова моря. Мощность осадочного слоя на плоских равнинах велика — до 2 км. Под таким слоем осадков скрылись бы многие земные горы.

Океанические глубоководные желоба — тоже огромные ловушки для осадочного материала. Обычно мощность осадков на дне желобов в 2—3 раза больше, чем в котловинах открытого океана.

В приэкваториальных районах Тихого океана под толщей теплых тропических вод:



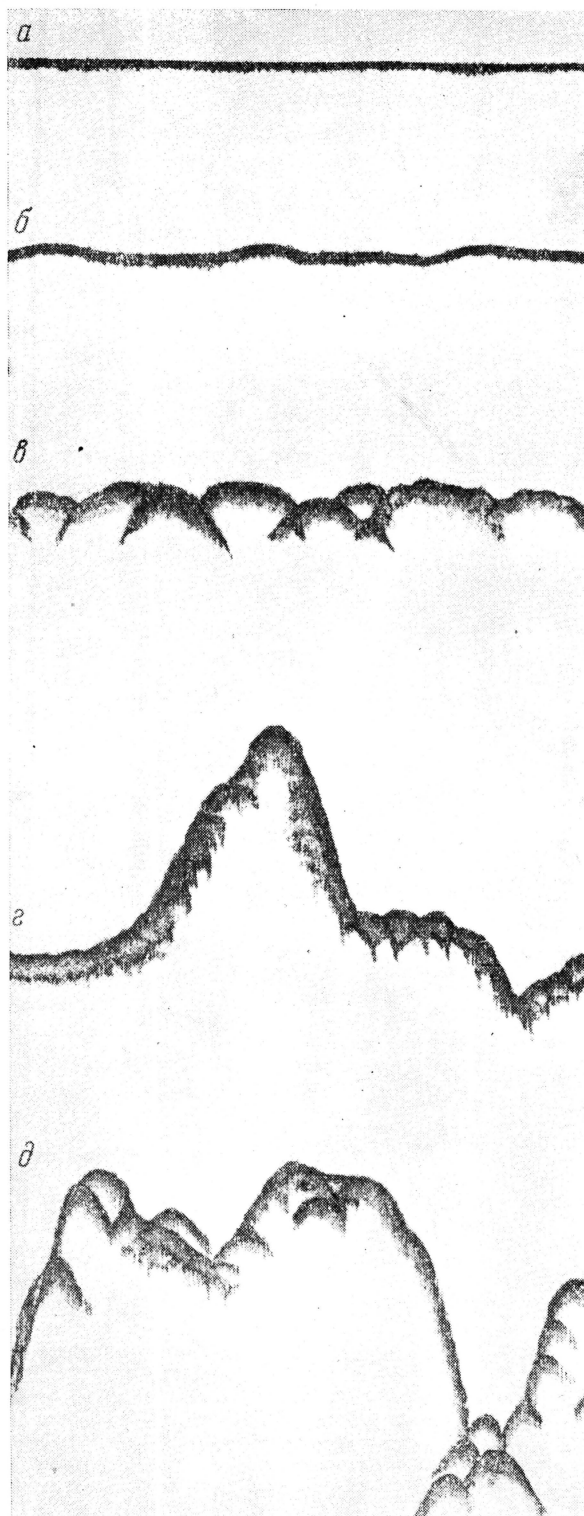
также встречаются плоские равнины, но только до определенных глубин. Стоит спуститься ниже уровня 4600—4700 м — и вы уже не увидите ровных пространств: они внезапно сменяются холмистым рельефом. Что же происходит? В приэкваториальных районах осадки состоят из карбонатных частиц (разрушенных раковин фораминифер). Однако на глубинах 4600—4700 м воды становятся холодными, недостаточно насыщенными карбонатом кальция, и фораминиферовые осадки... растворяются. Вот почему плоские равнины сменяются **холмистыми**.

В западной части Тихого океана много и **волнистых равнин**. Их поверхность имеет плавные неровности, напоминающие пологие волны с амплитудой глубин от десяти до ста метров и шириной от нескольких миль до нескольких десятков миль. Образование волнистых равнин также обусловлено обильным осадконакоплением.

ЗАГАДКИ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Вновь обратимся к физиографической карте. Интересной особенностью подводного рельефа этого района являются полосы интенсивного глыбового расчленения, или **зоны разломов**. Геологи уже давно обратили внимание на огромные, вытянутые на несколько тысяч километров, разломы в восточной части Тихого океана. И лишь сравнительно недавно с борта научно-исследовательского судна «Витязь» были обнаружены зоны разломов и в западной части. Правда, по своей морфологии они отличаются от разломов восточной части океана и, вероятно, имеют другое происхождение. В западной части Тихого океана расположено несколько таких

ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ФИЗИОГРАФИЧЕСКОЙ карте строится последовательно: а — рисунок рельефа на батиметрической карте в изобатах; б — для построения перспективного изображения плоское изображение рельефа батиметрической карты перестраивается в пространственное перспективное, отнесенное к плоскости, совпадающей с уровнем океана; в — изобаты батиметрической карты смещаются вниз по вертикали от уровня океана на величины, пропорциональные их глубинам, в соответствии с выбранным для карты вертикальным масштабом; г — этому этапу, связанному с отображением малых форм рельефа и характера поверхностей, предшествует анализ эхограмм, профилей и других материалов



ЭХОГРАММЫ ТИПИЧНЫХ поверхностей дна океана; а — плоской равнины; б — волнистой равнины; в — мелкохолмистой равнины; г — крупнохолмистого рельефа; д — сильно расчлененного рельефа зон разломов

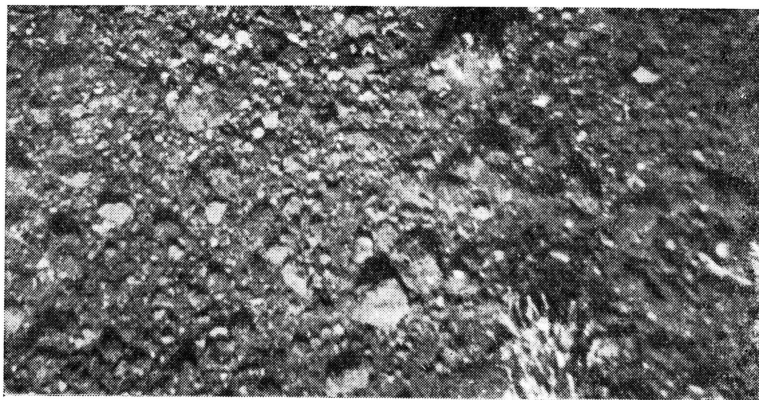
районов интенсивного дробления, состоящих из отдельных глыб и пиков, разделенных узкими, глубокими щелями, вытянутыми вдоль зоны. Профиль поверхности дна этой зоны напоминает пилу, только высота ее «зубьев» разная — от 1 км по краям до 2,5 км в осевой части.

Самая крупная зона дробления простирается в юго-восточном направлении от острова Тайвань через остров Яп, атолл Сорол и банку Айанте на 3,5 тыс. км. Максимальная ширина зоны 630 км. Системой хребтов и островных дуг она разделена на три обособленные части, расположенные в Филиппинской, Западно-Марианской и Западно-Каролинской котловинах. Каждая из этих частей имеет свои особенности. В пределах Филиппинской котловины наиболее резко выражено осевое ущелье (депрессия). Среднее звено в Западно-Марианской котловине смещено к северу примерно на 600 км, однако ориентировка зоны сохраняется. Южная часть теряет характерный вид и проявляется как крупная депрессия у южного подножия Каролинского вала и ряд гребней. Самое южное окончание зоны за пределами Каролинского вала выражено узкой полоской сильно расчлененного рельефа и депрессией по ее оси. Вблизи банки Айанте зона дробления выклинивается.

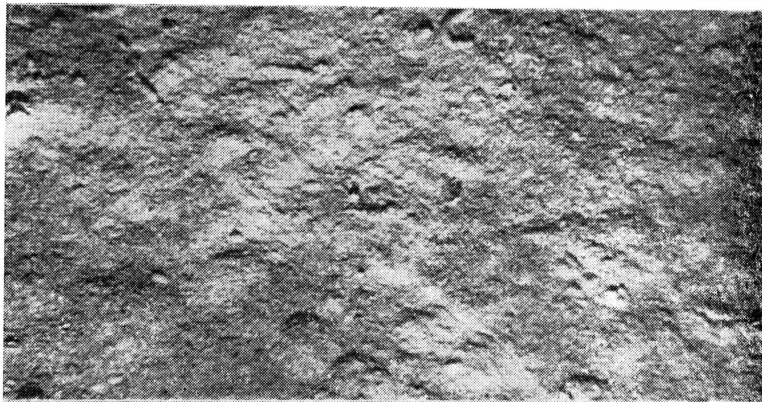
Другая крупная зона разлома расположена в Западно-Каролинской котловине, к юго-востоку от острова Палау. Она имеет ту же ориентировку, что и первая, но меньше по своим размерам и амплитуде расчлененности. Ширина зоны вблизи желоба Палау — 230 км, длина около 360 км. Амплитуда колебаний глубин в пределах зоны порядка 1500 м.

В настоящее время, к сожалению, еще нет геофизических данных, которые помогли бы разгадать природу зон разломов, а потому мы и не можем говорить определенно об их возрасте. Однако особенности строения рельефа дна западной части Тихого океана позволяют нам сделать предположение, что зона разломов является более древней структурой, чем пересекающие ее дуги. По-видимому, отдельные звенья зоны разлома были когда-то единой структурой и зона тянулась непрерывно. Затем, в ходе развития геосинклинальных областей и вовлечения все новых районов в процесс геосинклинального развития, древняя структура была раздроблена более молодыми сооружениями. Так, подводный хребет Кюсю-Палау и Марианская островная дуга разделили ее на три части. В результате средняя часть оказалась в пределах Западно-Марианской котловины.

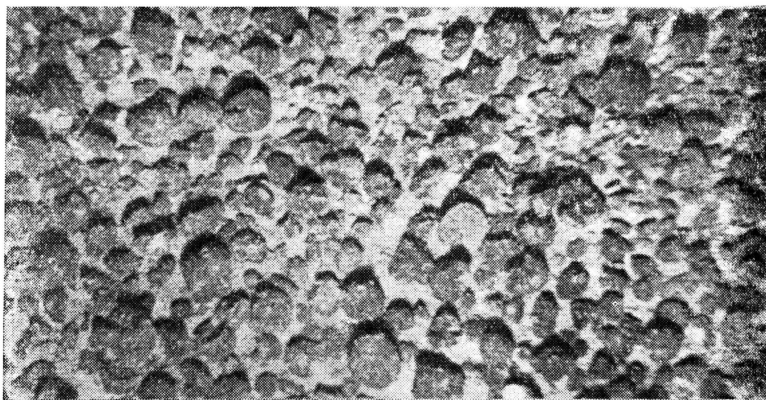
МАТЕРИКОВЫЙ СКЛОН в районе пролива Крузенштерна (Курильские острова). На поверхности дна видно скопление плохо сортированной гальки и гравия изверженных пород. К отдельным галькам прикрепилась веточки кораллов и мшанок. Площадь дна $1,5 \times 1,5$ м; глубина 1434 м



ЗАПАДНЫЙ СКЛОН ВАЛА Капингамаранги. Поверхность известкового ила в значительной степени нарушена деятельностью различных донных животных, в основном — роющих. В верхней части снимка на поверхности ила виден многощетинковый червь — полихета. Площадь дна $1,5 \times 1,5$ м; глубина 3670 м



ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ Северо-Западной котловины. На поверхности красной глубоководной глины видно богатое скопление железо-марганцевых конкреций, которые занимают здесь свыше 50% площади дна. Внутри конкреций треугольной формы заключены, по-видимому, зубы гигантских ископаемых акул — кархародон-мегалодон. Следов роющих донных животных на поверхности осадка здесь не видно. Площадь дна $1,5 \times 1,5$ м; глубина 5573 м



СЕВЕРНАЯ ЧАСТЬ Восточно-Марианской котловины. Большое скопление очень крупных железо-марганцевых конкреций на поверхности красной глубоководной глины. Между конкрециями на поверхности осадка видны следы различных роющих донных животных. На некоторых конкрециях заметны отдельные представители прикрепленной фауны. Площадь дна $1,2 \times 1,2$ м; глубина 5718 м



Фото Н. Л. Зенкевича

Третья по протяженности зона разлома расположена в Северо-Западной котловине, параллельно оси Курило-Камчатского желоба. Ось зоны отстоит от оси желоба в среднем на 540 км; протяженность ее — 1600 км; ширина в среднем 300 км. По морфологии она выделяется не столь резко, как предыдущие зоны: отдельные небольшие разломы и невысокие гребни, ориентированные с юго-запада на северо-восток, мало отличаются от холмистых равнин дна котловины. Однако более интенсивное расчленение этой области позволяет выделить ее визуально по эхограммам. Кроме того, она прослеживается по магнитным аномалиям и аномалиям силы тяжести.

Небольшие по размерам отдельные разломы или зоны разломов выявлены в Западно-Марианской, Северо-Фиджийской и в южной части Северо-Западной котловин, а также на южном склоне возвышенности Шатского, вдоль южной части Северо-Западного хребта, у подножия вала Маркус-Уэйк и в Центральной котловине. Приуроченность такого коли-

чества зон с интенсивным глыбовым тектоническим дроблением и отдельных разломов к западной периферии Тихого океана не случайна. Именно этот район Мирового океана характеризуется самой обширной и наиболее расчлененной переходной зоной от материка к ложу океана. По-видимому, сложнейшие преобразования, которые претерпевает этот район, приводят к значительным нарушениям поверхности как в переходной зоне, так и за ее пределами. Однако причины этих преобразований все еще остаются загадкой.

Итак, физиографическая карта предоставила нам возможность совершить увлекательное путешествие по дну океана. Морякам и подводникам она поможет быстро ориентироваться в океане, а акванавтам — строить сооружения на его дне. Картой пользуются и ученые разных специальностей: ведь многие проблемы, связанные с развитием земной коры, вулканизмом и образованием полезных ископаемых могут быть решены «во владениях Нептуна».

СОВЕДУЕМ ПРОЧИТАТЬ

КНИГА О «ДРАМЕ ИДЕЙ»

С книгой «Проблемы современной космогонии» («Наука», 1969), написанной коллективом авторов (В. А. Амбарцумян, Л. В. Мирзоян, Г. С. Саакян, С. К. Всехсвятский, В. В. Казютинский), читатели нашего журнала уже знакомы: в № 4 «Земли и Вселенной» за 1968 г. была опубликована ее первая глава «Нестационарные объекты Вселенной и их значение для космогонии». Вторая глава посвящена обзору основных результатов наблюдений звезд и галактик и анализу гипотез о происхождении и эволюции этих космических объектов. В третьей главе, в основном представляющей интерес для астрофизиков-теоретиков, дается систематическое изложение теории сверхплотных небесных тел. Некоторые проблемы космогонии солнечной системы изложены в четвертой главе.

В заключительной главе содержится философское обсуждение современного состояния космогонической теории. Положение, создавшееся в современной космо-

гонии, характеризуется следующими словами: «Итак, серьезные трудности истолкования нестационарных объектов по Вселенной, качественно отличных от всего, с чем космогония имела дело раньше, создали в ней крайне противоречивую ситуацию — подлинную «драму идей». Эта «драма идей» характеризуется острой борьбой конкурирующих гипотез и теорий, быстрой сменой теоретических представлений, «время жизни» которых, в силу непримиримых противоречий с фактами, часто не превышает нескольких месяцев (а многие из них оказываются буквально «однодневками»!). Если первым актом «драмы идей» в современной космогонии был взрыв страстей вокруг открытия нестационарности Метагалактики и его истолкования на основе теории А. А. Фридмана — Ж. Лематра, то ожесточенные споры, вызванные хлынувшим за последние годы потоком открытий нестационарных явлений в Солнечной системе, Галактике (звездные ассоциации), Метагалактике (взрывы в ядрах галактик, нестабильность многих групп и скоплений галак-

тик, квазары), стали вторым ее актом».

УВЛЕКАТЕЛЬНО ОБ АСТРОНОМИИ

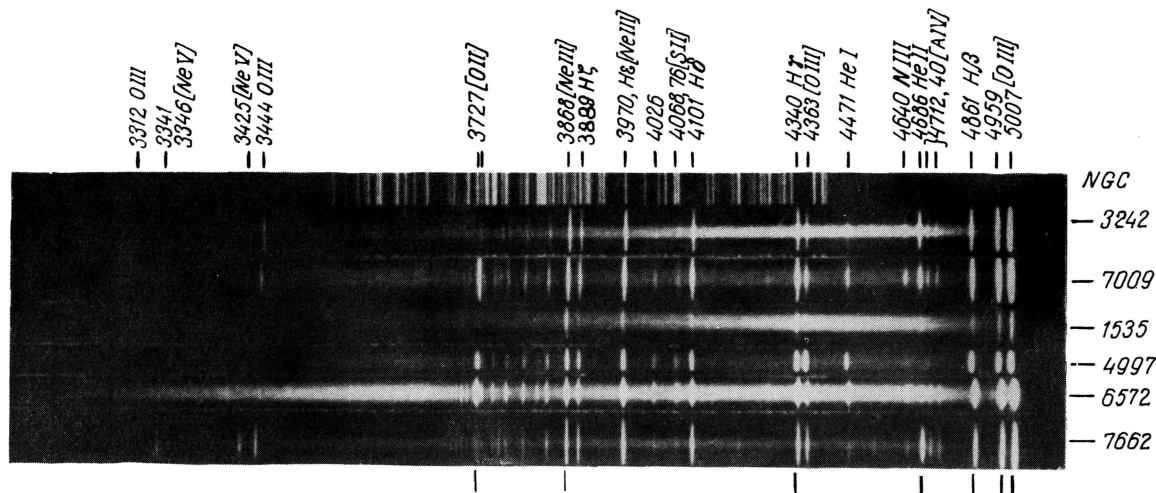
Не только начинающим любителям астрономии, но и людям, не равнодушным к этой науке, рекомендуем прочитать новую книгу В. Н. Комарова «Увлекательная астрономия» («Наука», 1968). В ней автор, используя свой большой опыт лектора-популяризатора, интересно и просто рассказывает о многих актуальных проблемах современной астрономии (жизнь на других планетах, загадки квазаров, новые состояния вещества, успехи и перспективы заатмосферных астрономических исследований и др.). Читая «Увлекательную астрономию», каждый задумается над многими «диловинными» вопросами: «Почему вымерли гигантские ящеры?», «Есть ли «конец» у Вселенной?», «Бесконечна ли бесконечность?», «Существует ли бесконечность?», «Прилетали ли на Землю гости из Космоса?», «Существуют ли микровселенные?»...



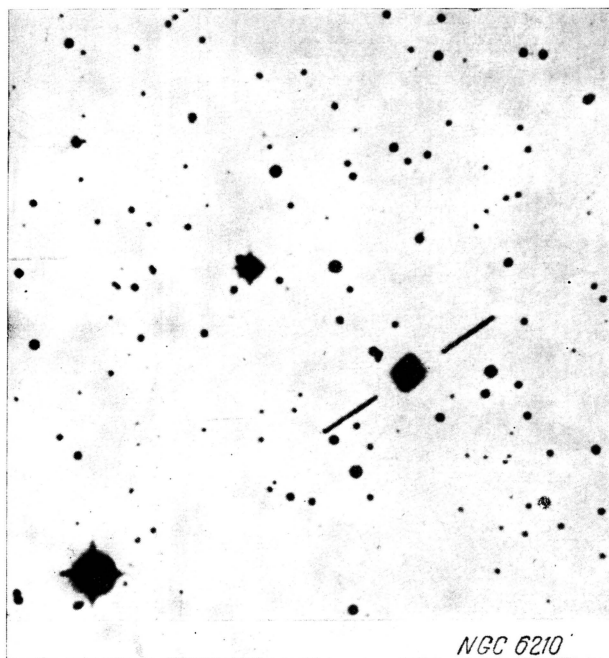
△ НА СКЛОНЕ ПОДВОДНОЙ ГОРЫ — обнаженные скалы, покрытые толстой шероховатой коркой двуокислов марганца, валуны, россыли обломков пород. К поверхности скал прикрепилась веточка рогового коралла — горгонарии. Площадь дна $1,5 \times 1,5$ м; глубина 2000 м.

ВЫХОДЫ КОРЕННЫХ ПОРОД покрыты толстой шероховатой коркой двуокислов марганца. Слева, в понижении между скалами — белый фораминиферовый песок со знаками ряби — свидетелями сильных придонных течений. Площадь дна $1,5 \times 1,5$ м; глубина 2000 м

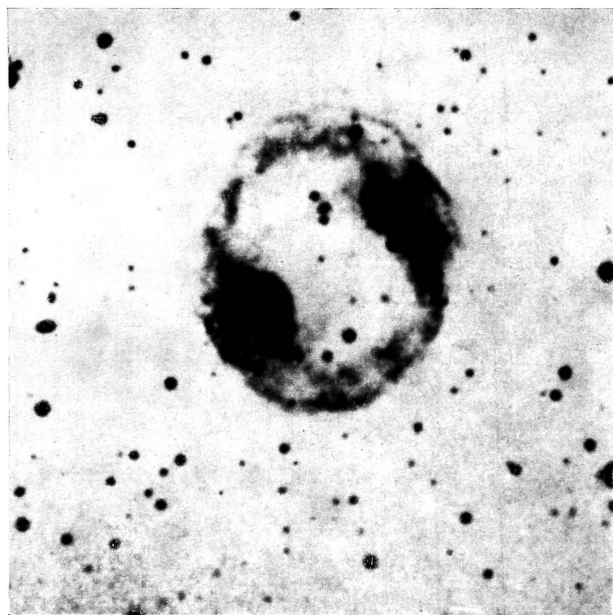




СПЕКТРЫ ШЕСТИ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ, полученные известным американским астрономом Л. Аллером. Самые сильные линии в спектрах имеют длину волны 4959 и 5000 Å и принадлежат небулию — дважды ионизованному кислороду. Вверху указаны длины волн основных линий в спектрах и химические элементы, с которыми эти линии отождествляются



NGC 6210



NGC 2474-5

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ

В. П. АРХИПОВА

кандидат физико-математических наук

Открытие радиоизлучения планетарных туманностей, переменности и двойственности ядер некоторых из них, наконец, открытие рождающейся планетарной туманности — вот далеко не полный перечень последних достижений этой, ставшей уже «традиционной», области астрофизики.

ЧТО ТАКОЕ ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ?

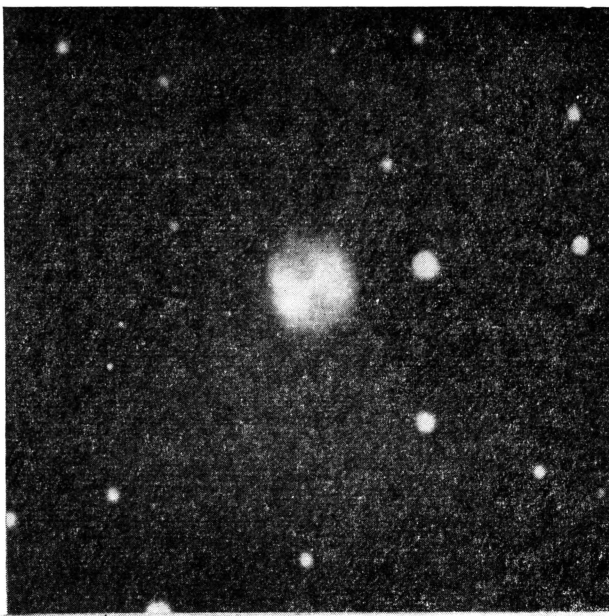
Небольшие газовые туманности с довольно резко очерченными границами называют планетарными, поскольку в телескоп они выглядят как планеты слегка зеленоватого цвета. Форма этих туманностей весьма разнообразна: некоторые из них не отличаются от звезд, другие напоминают кольца или диски иногда равномерной, но чаще неравномерной яркости. Встречаются

туманности и необычной формы. Например, выступы вдоль большой оси планетарной туманности NGC 7009 делают ее похожей на планету Сатурн. Не случайно туманность и названа Сатурном.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ самой разнообразной формы — от звездообразной у NGC 6210 и кольцеобразной с двумя сгустками вдоль диаметра у NGC 2474-5 (см. вклейку) до формы диска неравномерной яркости у NGC 7048 или с определенным распределением яркости, как у NGC 3195



NGC 7048



NGC 3195

Размеры многих планетарных туманностей невелики — от 5 до 30". Диаметр самой большой туманности NGC 7293, или Улитки, расположенной в созвездии Водолея, равен 15'.

Внутри каждой планетарной туманности находится звезда — ядро туманности. Центральные звезды чаще всего слабы. Спектры их относятся либо к спектральному классу O с линиями поглощения, либо к типу Вольф — Райе с широкими линиями излучения, либо являются непрерывными без всяких линий. Температура звезд не ниже 30 000° К. Это самые горячие звезды в Галактике.

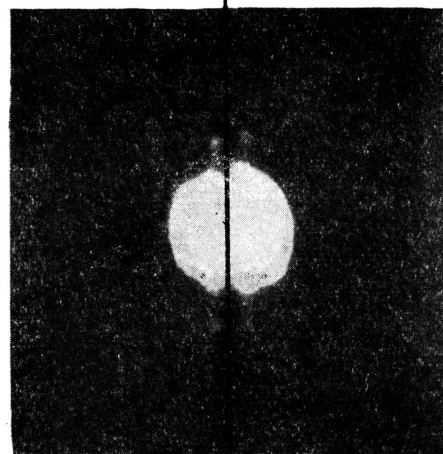
У планетарных туманностей характерный для излучения сильно разреженного газа спектр, в котором обычно видны яркие линии водорода, гелия и две очень интенсивные линии с длинами волн 5007 и 4959 Å. Эти линии, открытые еще в 1864 г. В. Хеггинсом, долго не удавалось приписать какому-либо химическому элементу и считалось, что они принадлежат таинственному веществу — небулию. Лишь в 1927 г. американский физик И. Боуэн отождествил эти линии с дважды ионизованным кислородом. В земных условиях линии небулия наблюдать нельзя, поскольку в лаборатории невозможно воспроизвести физические условия, подобные существующим в планетарных туманностях. Такие линии называются запрещенными. В ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектр планетарных туманностей пока мало изучен.

РАСШИРЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Уже давно известно, что планетарные туманности расширяются. По мере расширения уменьшаются плотность вещества и поверхностная яркость туманности — она становится невидимой.

Скорости расширения обычно невелики, в среднем около 10 км/сек. Если масса туманности равна 0,2 солнечной, то при такой скорости расширения через 10^4 лет после образования туманности средняя плотность ее вещества не будет отличаться от плотности межзвездной среды, т. е. туманность исчезнет, растворится в межзвездном пространстве. Таким образом, планетарные туманности — это очень недолговечные (в космической шкале времени) объекты.

Интересные наблюдения расширения планетарных туманностей выполнены в Ликской



1908 г.

1961 г.

РАСШИРЕНИЕ планетарных туманностей видно из сопоставления фотографий одной и той же туманности, полученных на одном и том же телескопе, но в разное время. При сравнении фотографий NGC 7009 (Сатурн), сделанных в Ликской обсерватории (США) в 1908 и 1961 гг., можно заметить, что диаметр туманности на фотографии 1961 г. стал больше. Это и свидетельствует о расширении планетарной туманности

обсерватории (США), где сравнили фотографии нескольких туманностей, полученные на одном и том же телескопе в 1896—1918 гг. и в 1961—1967 гг. Наибольшее угловое расширение оказалось у NGC 7009. Скорость расширения разных частей туманностей неодинакова, например, внешние области NGC 7662 расширяются с большей скоростью, чем внутренние.

ПОЧЕМУ СВЕТАТСЯ ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ?

Не случайно, что в центре почти каждой туманности наблюдается звезда. Может быть, планетарные туманности светятся именно потому, что отражают свет этой центральной звезды? Такой механизм свечения, как известно, «работает» в отражательных газо-пылевых туманностях. Но полная яркость планетарной туманности обычно значительно превосходит яркость звезды, а у некоторых туманностей ядра так слабы, что их до сих пор не обнаружили.

Итак, если допустить, что туманность только отражает свет центральной звезды, то мы приходим к противоречию: отражающий объект (туманность) светит ярче, чем освещающий (звезда). Следовательно, нужно искать другой механизм свечения. В 1926 г. было показано, что причиной свечения планетарных туманностей является флуоресценция, т. е. переработка невидимого далекого ультрафиолетового излучения ядра в излучение водорода и других элементов в видимой области спектра.

Звезда — ядро — испускает энергию, главным образом, в далекой ультрафиолетовой области спектра. Излучаемые звездой кванты с длиной волны меньше $912\text{\AA}$, попадая в туманность, вызывают фотоэлектрическую ионизацию атомов водорода. Сами кванты при этом поглощаются. Свободные электроны, образовавшиеся при ионизации, захватываются ионизованными атомами водорода, причем электрон каскадно опускается вниз, на первый уровень атома, излучая кванты в видимой и инфракрасной областях спектра. Один из промежуточных переходов на второй уровень дает квант в одной из водородных линий серии Бальмера. Таким образом, каждый квант с длиной волны меньше $912\text{\AA}$, поглощенный в туманности, преобразуется в квант бальмеровской линии. Если все коротковолновые кванты, испускаемые звездой, поглощаются в туманности, то туманность называется оптически толстой. Такая планетарная туманность «работает» как счетчик звездных фотонов. Зная, сколько квантов излучает туманность в бальмеровских линиях, нетрудно определить, сколько квантов излучает звезда в невидимой далекой ультрафиолетовой области спектра. Таков принцип определения температуры ядра по линиям в спектре туманности. Этот метод был предложен в 1927 г. голландским астрофизиком Х. Занстра и независимо Д. Мензелом (США). Если туманность поглощает не все звездные кванты, т. е. часть их улетучивается в межзвездное пространство, пройдя без препятствий всю туманность, то такая туманность является оптически тонкой. В этом случае метод Занстра — Мензела дает лишь нижнюю границу температуры ядра.

Запрещенные линии в спектре туманности (в том числе и линии небулия) образуются иначе, чем водородные. В туманности много свободных электронов, покинувших свои атомы в результате фотоионизации. Двигаясь хаотически, они могут столкнуться с ионами дважды ионизованного кислоро-

да и, отдав свою кинетическую энергию, перевести электрон, принадлежащий иону, с нижнего уровня на верхний возбужденный. Через некоторое время происходит высвечивание: электрон возвращается на нижний уровень, излучая при этом квант в линии 5007 или $4959\text{\AA}$.

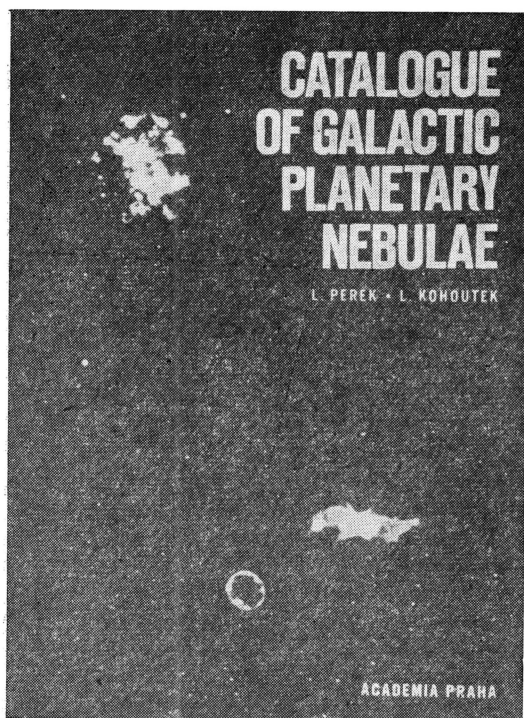
Аналогично образуются запрещенные линии и других ионов, светящихся в туманности. Кроме небулия в спектрах планетарных туманностей обычно присутствуют запрещенные линии ионизованного азота — две красные линии по обе стороны от водородной линии H_{α} ; линия неона с длиной волны $3970\text{\AA}$; ультрафиолетовые линии ионизованного кислорода с длинами волн 3726 и $3729\text{\AA}$, по которым можно с большой точностью определить электронную плотность в туманности.

Теория свечения планетарных туманностей, основы которой были заложены Д. Мензелом, Х. Занстра, Л. Аллером, значительно усовершенствовалась за последние 10—15 лет. Сейчас эта теория — один из на-



ФОТОГРАФИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ ТУМАННОСТИ NGC 6543, полученная в начале нашего века Х. Кертисом (США). Именно ему принадлежат первые превосходные по качеству снимки планетарных туманностей

ибо более хорошо разработанных разделов современной астрофизики, и ее, ставшие классическими, результаты используются для изучения различных газовых образований. Разработанные в теории методы позволяют определить физические параметры планетарных туманностей: температуру ядра, температуру туманности и ее плотность. Отметим, что температура туманности, характеризующая кинетическую энергию электронов, существенно ниже, чем температура ядра. Если ядро имеет температуру, например $50\,000^\circ\text{K}$, то в туманности температура всего лишь $10\,000^\circ\text{K}$. Это связано с тем, что в туманности постоянно действует «охлаждающий» фактор — атомы, излучающие запрещенные линии. Плотность вещества туманности крайне мала и составляет в среднем около 1000 протонов в 1 см^3 , или $3 \cdot 10^{-25}\text{ г/см}^3$, а содержание химических элементов — нормальное, т. е. такое же, как у Солнца и у молодых звезд в Галактике.



ОБЛОЖКА «Каталога галактических планетарных туманностей», выпущенного в 1967 г. Л. Переном и Л. Когоутеком (Чехословакия). В этом каталоге собраны фотографии всех известных в Галактике планетарных туманностей

РАССТОЯНИЯ ДО ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

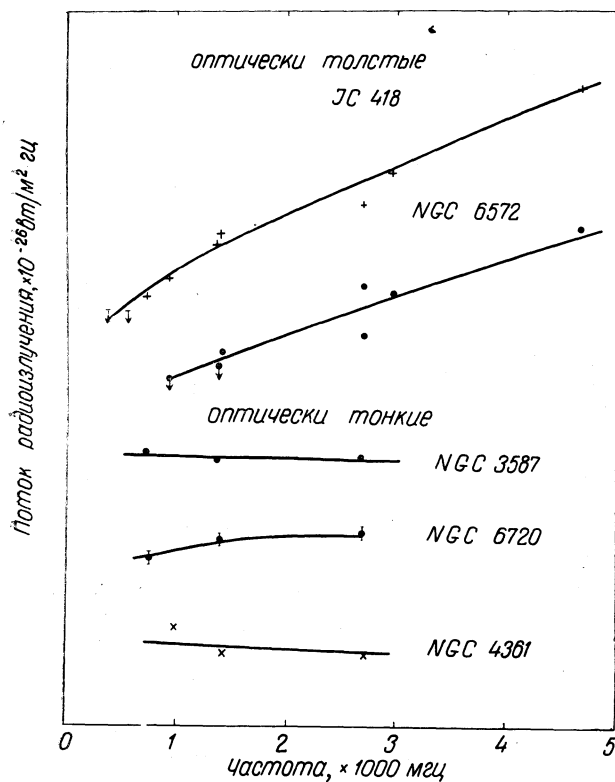
Физические условия и процессы, происходящие в планетарных туманностях, известны довольно хорошо, чего нельзя, к сожалению, сказать о расстояниях до туманностей. Долго в научной литературе дискутировался вопрос: являются ли туманности оптически толстыми или оптически тонкими? Сейчас мы знаем, что существуют и те, и другие, а методы определения расстояний для этих двух групп различны.

Б. А. Воронцов-Вельяминов показал, что абсолютная звездная величина оптически толстых туманностей постоянна и слабо зависит от температуры звезды. Сравнивая видимую и абсолютную величины, можно вычислить расстояние, если учесть межзвездное поглощение света. Оптически тонким туманностям не свойственно постоянство абсолютной звездной величины. Метод определения расстояний до них, предложенный И. С. Шкловским, основан на допущении равенства масс всех туманностей. Поскольку планетарные туманности расширяются, на определенном этапе можно считать туманность оптически тонкой и находить расстояние по ее угловому диаметру, учитывая при этом различие в поверхностной яркости объектов.

Итак, чтобы определить расстояние до данной туманности, нужно знать, толстая она или тонкая. Было предложено несколько критериев оптической толщи туманностей, однако результаты применения их не всегда согласуются между собой, поэтому пока не ясно, какую шкалу расстояний следует использовать в каждом конкретном случае. Из-за этого же остается нерешенным вопрос и о пространственном распределении планетарных туманностей в Галактике. Помимо проблемы расстояний, этот вопрос усложняется неполнотой открытия (селекцией) туманностей. Сейчас в нашей Галактике известно всего 1200 планетарных туманностей. Ожидаемое полное число их составляет примерно 50 000.

РАДИОНАБЛЮДЕНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

Радиоизлучение планетарных туманностей имеет тепловую природу. Это — излучение свободных электронов, движущихся в поле протона. До 1961 г. о радиоизлучении планетарных туманностей практически ничего не было известно, так как они — очень



РАДИОСПЕКТРЫ планетарных туманностей (для наглядности кривые сдвинуты произвольно вдоль оси ординат). У оптически толстых туманностей при переходе к низким частотам поток радиоизлучения уменьшается, т. е. на низких частотах в их спектрах имеется завал. Радиоспектры оптически тонких туманностей практически не зависят от частоты

слабые радиоисточники. Мощность сигнала от большинства туманностей сравнима с мощностью собственных шумов приемника радиоизлучения.

Первые надежные наблюдения планетарных туманностей на длине волны 10 см были проведены К. Линдсом с помощью 85-футового радиотелескопа Национальной радиоастрономической обсерватории США. Линдс измерил радиоизлучение всего 10 туманностей. Вскоре были выполнены радионаблюдения более 100 туманностей на частотах от 400 до 5000 МГц (длины волн от 6 мм до 75 см) в США, Австралии, Англии, СССР. Эти наблюдения показали, что иногда спектр планетарной туманности бывает похож на спектр источников нетеплового радиоизлучения, у которых радиопоток увеличивается с уменьшением частоты, т. е. в сторону более длинных волн. Однако выяснилось, что в большинстве случаев увеличение потока

радиоизлучения туманностей с длиной волны — результат путаницы: сигнал от слабого источника (планетарной туманности) «забивается» сигналом от расположенного рядом более мощного источника нетеплового радиоизлучения. Интересно также, что радиоспектр оптически тонкой туманности не зависит от частоты, а оптически толстой — имеет «завал» на низких частотах. Радионаблюдения на низких частотах использовались для определения температуры туманностей, но полученные результаты сильно расходятся с оптическими данными.

ОСОБЫЕ ЯДРА ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

В последние годы в СССР и США начались работы по фотоэлектрической фотометрии ядер планетарных туманностей. Ученые обнаружили переменность температуры и блеска некоторых ядер. Переменность ядра планетарной туманности IC 4997 проявляется в изменении интенсивности запрещенных линий в спектре. Аналогичные изменения, связанные с ростом температуры ядра, открыты у туманностей NGC 6572, NGC 6543, NGC 6905. В отдельных случаях отмечены колебания блеска ядра за время порядка нескольких десятилетий.

В 1961 г. К. Хенайз (США) открыл слабую туманность, окружающую звезду V 377. 1943 Стрелы. Эта звезда известна как неправильная переменная с 1943 г. Исследования ее блеска с 1890 по 1967 г. показывают удивительную картину: блеск звезды непрерывно растет и за 70 лет увеличился на 5 звездных величин! Звезда «на глазах» меняет и свои спектральные характеристики — с 1955 по 1967 г. спектр звезды «пожелтел» (если в 1955 г. спектральный класс звезды был В4, то в 1967 г. он стал А7). А. А. Боярчук (СССР) и Дж. Хербиг (США) считают этот объект возникающей планетарной туманностью, которая приобретет все «права гражданства» примерно через 3000 лет, а пока звезда лишь сбрасывает оболочку. Возможно, звезда уже один раз сбросила такую оболочку и остаток ее наблюдается сейчас как очень слабая туманность.

Известны туманности с «холодными» ядрами, температура которых недостаточна для возбуждения свечения газа. «Холодное» ядро спектрального класса А0 имеет эффективную температуру около 10 000° К и дает слишком мало ультрафиолетовых квантов, чтобы ионизовать окружающую его туманность. Однако противоречие полностью

устраняется, если предположить, как это делает чехословацкий астроном Л. Когоутек, что ядро туманности — двойная звезда. Второй компонент — горячая голубая звезда низкой светимости — никак не проявляется в видимой области спектра, поскольку здесь мы наблюдаем преимущественно излучение более яркого «холодного» компонента. Однако в ультрафиолетовой области спектра голубой компонент, возможно, уже «заявляет» о себе: в спектре ядра имеется явный избыток ультрафиолетового излучения по сравнению с нормальной звездой спектрального класса A0.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ ТУМАННОСТЕЙ

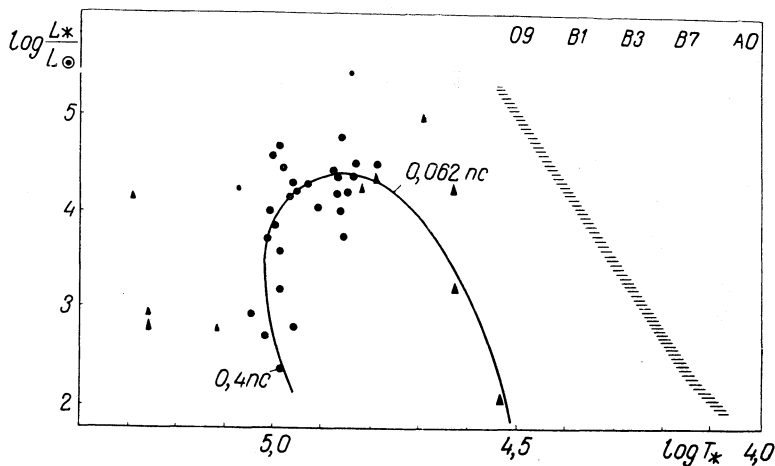
Сейчас уже нет сомнений в том, что планетарная туманность — очень короткая стадия жизни центральной звезды. Важно выяснить место этой стадии в общей эволюции звезды, ее предысторию и дальнейшее развитие. И тогда станет ясен возраст ядра и то, образуется ли туманность, когда звезда еще совсем молода, или, напротив, стадия планетарной туманности — это последняя вспышка жизни звезды перед угасанием.

В 1966 г. английский астрофизик М. Ситон впервые получил эмпирический эволюционный путь планетарной туманности на диаграмме температура — светимость.

Согласно Ситону, туманность образуется как оптически толстая, ее размеры малы, а плотность вещества достаточно велика, чтобы поглотить все далекое ультрафиолетовое излучение центральной звезды. По мере рас-

ширения туманности, роста температуры и светимости ядра оптическая толща туманности убывает. Когда размер туманности становится равным 0,062 пс, она переходит в оптически тонкую стадию, которая продолжается до тех пор, пока размеры туманности не увеличатся до 0,6 пс. Затем начинается третья, завершающая стадия развития — туманность снова становится оптически толстой. Это происходит потому, что количество ультрафиолетовых квантов, излучаемых звездой, резко падает вследствие уменьшения ее светимости. И тогда, даже при той малой плотности вещества, которая наблюдается на этой стадии, все ультрафиолетовые кванты снова задерживаются туманностью. Поверхностная яркость туманности в это время уже очень мала. Открыть туманность вероятнее всего в оптически тонкой стадии. На ранней стадии туманность, если только она не расположена близко к Солнцу, выглядит, как звезда, и ее трудно обнаружить. На поздней стадии туманность также трудно обнаружить из-за ее малой поверхностной яркости.

Эволюционный трек получен Ситоном на основании только наблюдательных данных. Согласуется ли он с современными воззрениями на эволюцию звезд? Недавно проведенные расчеты показывают, что различные модели эволюции звезды с массой от 0,8 до 1,4 солнечной удовлетворительно согласуются с эмпирическим эволюционным треком, полученным Ситоном. Планетарные туманности, по-видимому, образуются у звезд с массой около солнечной, принадлежащих населению диска. Когда все ядерные источники в звезде исчерпаны, звезда охлаждается и превращается в белый карлик. Вполне возможно, что половина всех белых карликов



ЭВОЛЮЦИЯ планетарных туманностей (по М. Ситону). На оси абсцисс отложен логарифм температуры ядра, на оси ординат — логарифм светимости ядра (в долях светимости Солнца). Точками отмечены оптически тонкие туманности, треугольниками — оптически толстые; сплошная линия — эволюционный трек, на котором обозначены: начало стадии оптически тонкой туманности, когда ее радиус равен 0,062 пс, и точка, соответствующая радиусу туманности в 0,4 пс (конец оптически тонкой стадии). Положение главной последовательности показано штриховкой, спектральные классы приведены в правом верхнем углу

образовалась из звезд, бывших в прошлом ядрами планетарных туманностей. Впервые мысль о том, что ядра планетарных туманностей непосредственно предшествуют белым карликам, была высказана Д. Мензелом в 1926 г., однако в то время не было никаких оснований для поддержки такого смелого высказывания. И когда Мензел послал известному астрофизику А. Эддингтону копию своей статьи, Эддингтон ответил, что он не видит каких-либо ошибок в рассуждениях, однако

не думает, чтобы ядра планетарных туманностей были «устроены подобным образом».

Но если в теории эволюции планетарных туманностей уже наметились определенные сдвиги, вопрос о причинах образования и механизме возникновения небулярной оболочки у звезд еще очень далек от решения. Надежно установлено лишь то, что вещество, из которого состоит планетарная туманность, некогда было веществом центральной звезды.



В АТМОСФЕРЕ МАРСА — ЛЕДЯНЫЕ КРИСТАЛЛИКИ

Ледяные кристаллики в земной атмосфере создают замечательные оптические явления: световые столбы и кресты, яркие кольца и дуги, ложные солнца и луны. Все это — гало различных типов. Они возникают в результате преломления в льдинках солнечных лучей, пронизывающих земную атмосферу.

Гало должны существовать в любой атмосфере, если в ней есть облака ледяных кристалликов. Следовательно, гало в атмосфере других планет может указывать на наличие таких облаков.

На протяжении более 150 лет астрономы не раз видели на Марсе необычно яркие белые пятна, то появляющиеся, то вновь исчезающие. Советский астроном В. Д. Давыдов собрал 130 описаний таких пятен и провел статистическую обработку. Оказалось, что частота появления белых пятен зависит от угла фазы Марса. На графике, выражающем эту зависимость, получилось более 20 четких максимумов. Но самое интересное, что при углах фазы, которые соответствуют этим максимумам, земной наблюдатель мог бы видеть солнечные гало на ориентированных ледяных кристалликах марсианских облаков. На основании этого В. Д. Давыдов сделал вывод: ледяные кристаллики в атмосфере Марса существуют! Кроме широко известных на Земле гало, на Марсе обнаружены редкие их типы. Это не удивительно: ведь мы сразу видим целое полушарие Марса.

Интересно также, что на построенном графике нет максимума, который должен был бы соответствовать нашей земной радуге, т. е. преломлению света в водяных каплях. Возможно, в марсианской атмосфере не бывает водяных капель достаточно крупных, чтобы создать радугу.

Результаты наблюдений одного белого пятна-облака подверглись детальному теоретическому исследованию. Это пятно, сильно вытянутой формы, было видно 4 июня 1937 г. всего 5 минут. Исследование показало, что размер водяных кристалликов в облаке составляет всего 60 мкм. Обилие кристалликов соответствует осажденному слою воды не менее 2 см. Облако возникло, по-видимому, при извержении вулкана.

«Астрономический циркуляр»,
492, 1968.

«ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА» НА МАРСЕ

Значительная часть земной суши занята областями, где подповерхностные слои круглый год сохраняют температуру ниже 0°С, — вечной мерзлотой. Зона промерзания может простираться на глубину до нескольких сот метров. Обычно вечную мерзлоту связывают с почвами или породами, содержащими большое количество воды. Однако лед игра-

ет лишь роль цементирующего вещества. Основная характеристика таких областей — это их температура: породы под ледниковыми щитами Гренландии или Антарктиды, безусловно, имеют температуру ниже нуля, но содержание воды в них может быть очень малым. Вот почему в науке все шире используется общий термин для областей с круглогодичной подповерхностной температурой ниже 0°С — постоянно мерзлые грунты.

Естествен вопрос: возможно ли существование постоянномерзлых грунтов на других планетах солнечной системы? Температура поверхности Меркурия и Венеры слишком высока, чтобы там могли возникнуть постоянномерзлые породы. На Марсе, по мнению американских исследователей Э. Уэйда и де Уайза, существование подобных грунтов весьма вероятно.

Постоянномерзлые грунты наблюдаются лишь в тех местах, где есть вода и средняя годовая температура ниже 0°С. Такие температуры повсеместны на Марсе в районах севернее 30° с. ш. и южнее 70° ю. ш., а в остальных — на глубине от нескольких (или десятков) сантиметров до нескольких десятков метров. Верхняя граница определяется глубиной проникновения сезонной волны тепла, нижняя — величиной теплового градиента в марсианских породах.

Изучение постоянномерзлых грунтов в земных условиях показывает, что необходимая для их развития вода имеет в основном атмосферное происхождение. Сезонное замерзание и оттаивание

близповерхностных вод приводит к растрескиванию почвы и постепенному росту в трещинах вертикальных клиньев льда. Эти ледяные клинья, прорастающие до поверхности, разбивают ее на многоугольники — полигоны растрескивания, стороны которых достигают нескольких метров.

На Марсе температуры и давление таковы, что существование там жидкой воды, вероятно, не исключено. Правда, общее количество воды в атмосфере и на поверхности планеты очень незначительно. Однако и в этих условиях могут развиваться полигональные формы микрорельефа, благодаря росту из глубины и выходу на поверхность уже не ледяных, а песчаных клиньев. Клинья могут расти в результате периодических сжатий и расширений верхней части постоянномерзлых грунтов. Эти периодические явления вызваны проник-

новением волн летнего тепла и зимнего холода. Размеры полигонов, ограниченные клиньями, могут достигать 20—30 м. Разрушение и ветровая эрозия верхних частей клиньев будет приводить к образованию вдоль границ полигонов гряд, высотой до 1,5 м.

Кроме полигонов в районах постоянномерзлых грунтов Марса могут появиться и другие характерные формы рельефа. Хотя источники атмосферной воды на Марсе практически исключены, там могут существовать глубинные грунтовые воды. Поднимаясь к мерзлотному горизонту и замерзая там, они будут создавать куполообразные вспучивания на поверхности. Последующее таяние льда может привести к образованию провалов, напоминающих по форме округлые кратеры небольших размеров.

«Icarus», 9, 1, 1968.

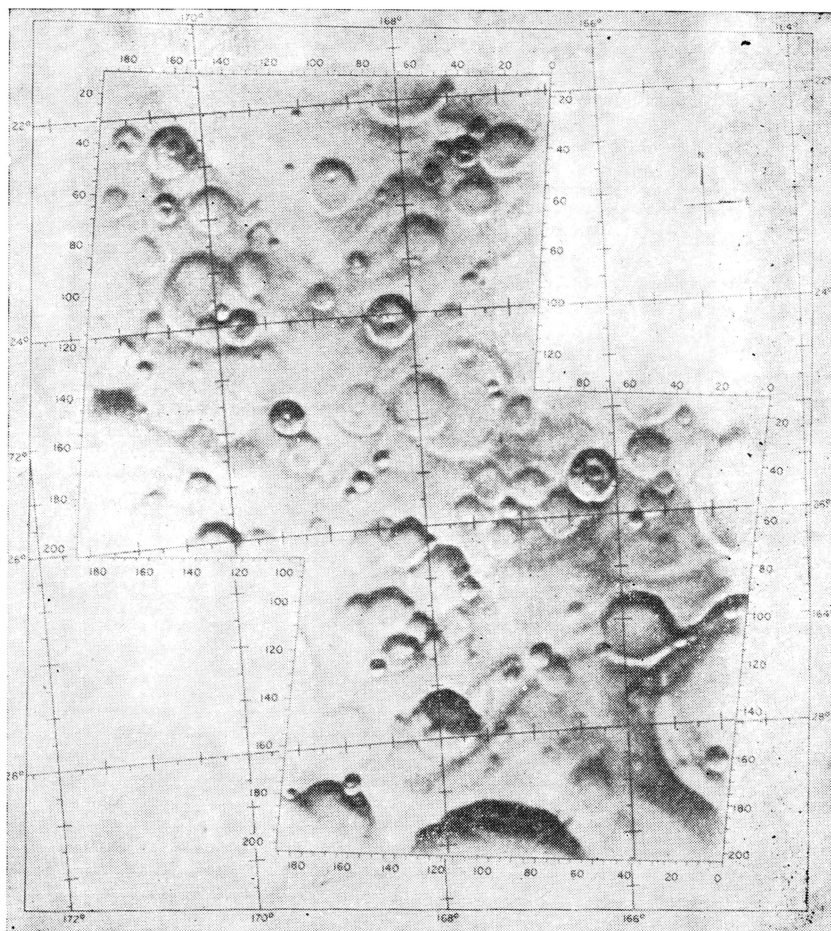
ФОТОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

Уже сообщалось (см. «Земля и Вселенная», № 3, 1968 г., стр. 12), что в США продолжается обработка телевизионных изображений поверхности Марса, полученных 14 июля 1965 г. космическим аппаратом «Маринер-4». Изображения были очищены от радиотехнических помех, сглажены яркости, выровнен фон. В результате получились достаточно отчетливые снимки отдельных участков Марса.

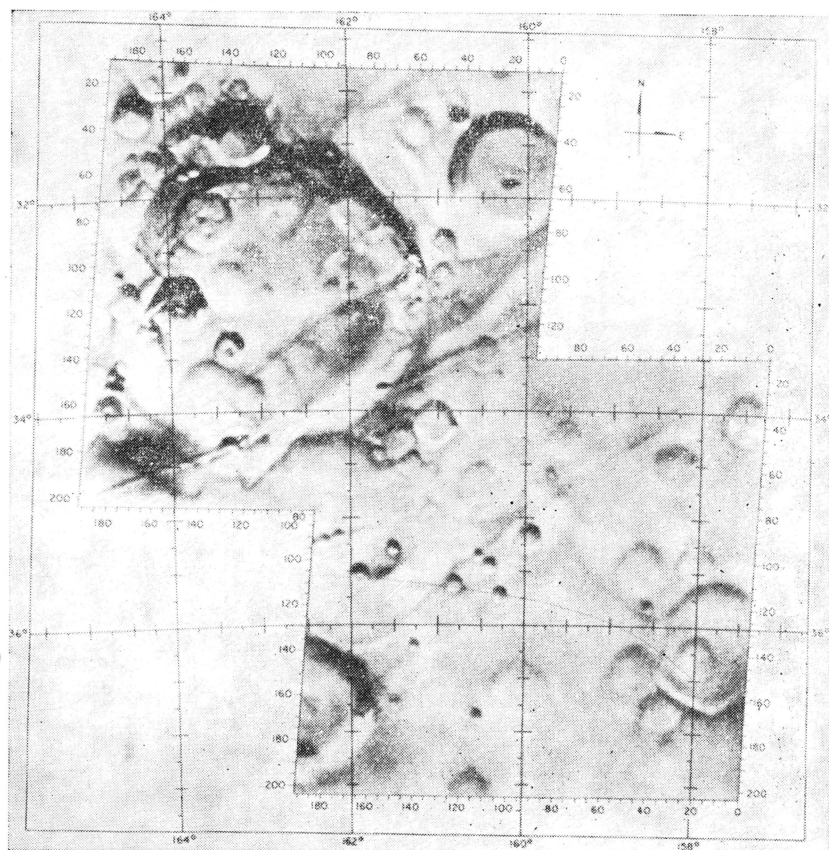
Наиболее характерными деталями марсианского ландшафта оказались кратеры. На 22 участках обнаружили 635 достоверных и возможных кратеров. Если предположить, что такое обилие кратеров свойственно всей поверхности Марса, то на планете должно быть около 145 000 кратеров!

«JPL Technical Report», 32—884, 1968.

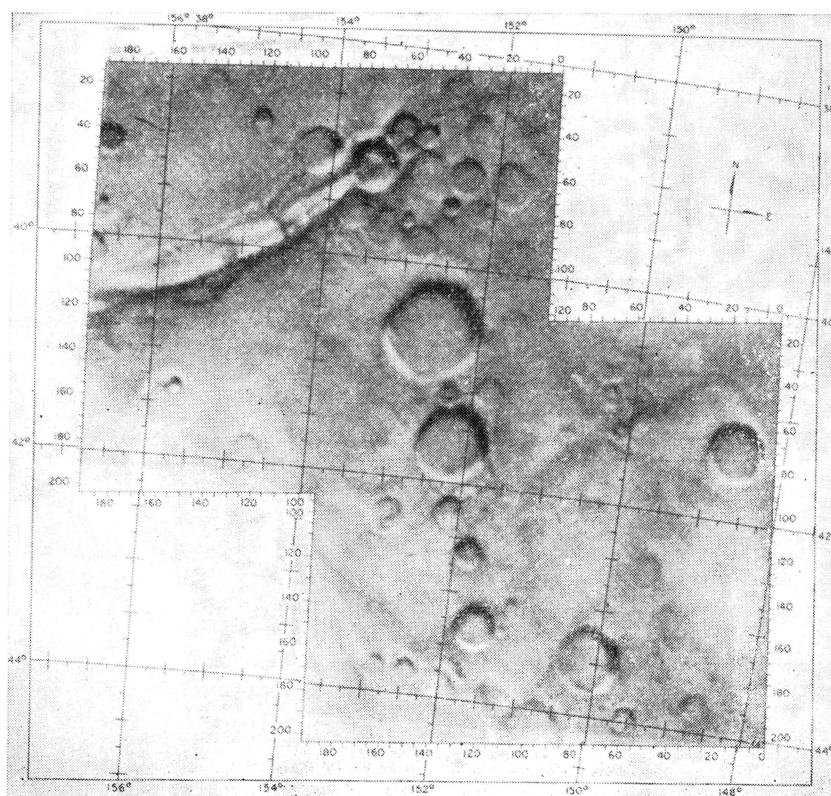
РАЙОН АТЛАНТИС — граница Моря Сирен и Киммерийского Моря — участок с наибольшей плотностью кратеров. Здесь расположено 132 кратера поперечником от 4 до 123 км (масштаб можно определить по координатной сетке: 1° широты равен 59 км). Высота их валов нигде не превышает уровня окружающей местности более чем на 200—300 м. Склоны кратеров очень пологи: 5—10°



УЧАСТОК КИММЕРИЙСКОГО МОРЯ с интересными линейными образованиями, напоминающими борозды. Их можно обнаружить и на других снимках. Образования имеют длину до 200—300 км, а ширину 3—5 км. Они — то светлее, то темнее окружающего фона. Иногда «борозды» состоят из двух параллельных линий: темной и светлой. Некоторые «борозды» похожи на углубления, другие — на возвышенности, но достоверных данных об их профиле не получено. Можно предположить, что «борозды» возникли в результате тектонических разломов



ЮЖНЫЙ РАЙОН МОРЯ СИРЕН. Вверху часть вала наибольшего из зарегистрированных кратеров, диаметр которого 350 км. На оригинальных изображениях этого района теневые склоны некоторых возвышенностей имеют аномально большую яркость по сравнению со склонами, обращенными к Солнцу. По-видимому, это вызвано присутствием инея или снега на менее нагретых участках, тем более что граница южной полярной шапки в момент съемки находилась довольно близко



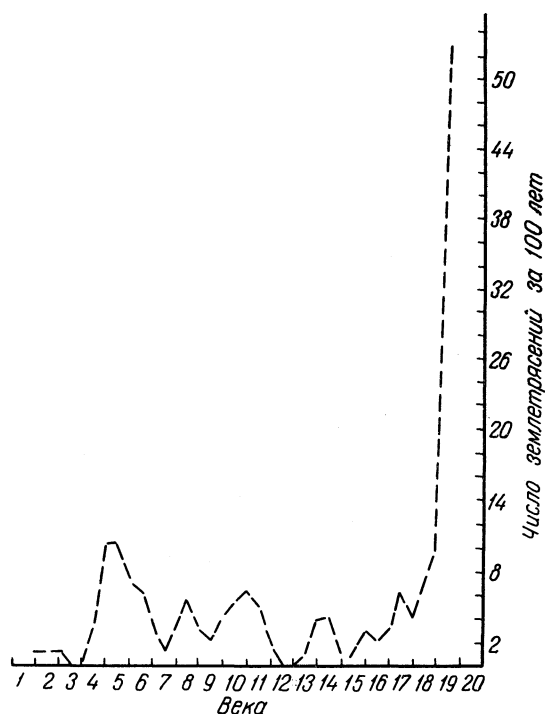
Сильные землетрясения Турции и их геологическое значение

И. В. КИРИЛЛОВА
кандидат геолого-минералогических наук

Каждое землетрясение свидетельствует о продолжающемся развитии земной коры. Даже единичные землетрясения фиксируют места, связанные с развитием зон глубинных разломов. Если же таких землетрясений несколько, они позволяют более полно охарактеризовать связь между сейсмичностью и тектоникой. В Турции за последние 30 лет произошло более двух десятков сильных землетрясений.

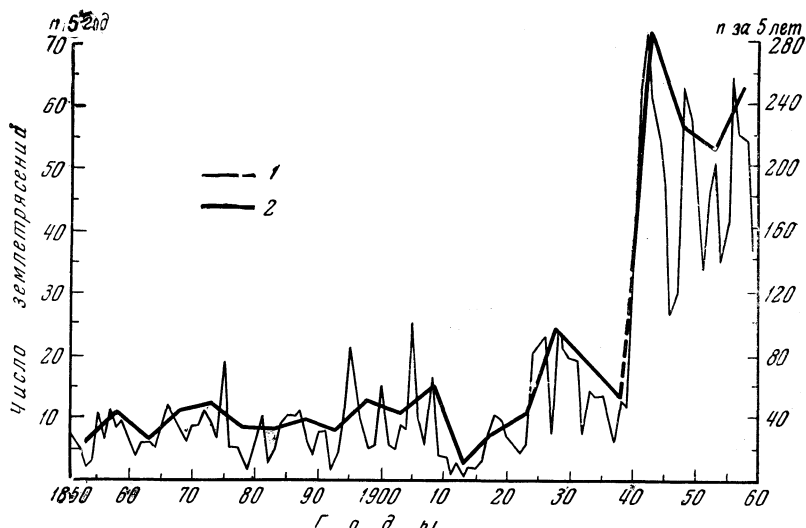
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ

Турция, Иран и советский Кавказ составляют Тавро-Кавказский отрезок альпийской складчатой области Евразии, являясь одновременно частью средиземноморского сейсмического пояса, который проходит в близширотном направлении от Гибралтара до берегов Тихого океана. Однако внешние участки зоны обнаруживают меньшую сейсмическую активность: землетрясения в Турции и чаще, и сильнее, чем на Кавказе. Это не значит, что Турция сотрясается непрерывно. Согласно историческим данным, за два с лишним десятилетия сейсмическая активность этой территории характеризовалась своеобразной ритмичностью. Число разрушительных земле-



ПЕРИОДИЧНОСТЬ СИЛЬНЫХ ТУРЕЦКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (с первых веков нашей эры). Заметный скачок числа землетрясений в последнее столетие объясняется не столько их абсолютным ростом, сколько существенным увеличением сведений

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТУРЕЦКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ за последние 100 лет (включая и слабые землетрясения): 1 — по годам, 2 — по пятилетиям. Максимумы сейсмической активности приходятся на периоды: 1855—1860, 1870—1875, 1905—1910, 1925—1930, 1940—1945 гг., а минимумы характеризуют интервалы: 1860—1865, 1910—1915, 1935—1940, 1950—1955 гг. Последний минимум весьма относительно, так как с 1938 г. начался резкий подъем сейсмической активности (произошло около 20 разрушительных землетрясений от 8 до 10 баллов). По Н. Очелу



трясений то нарастает, то уменьшается, что заставляет думать о существовании связей между сейсмической активностью и колебательными тектоническими движениями земной коры.

Наиболее длительный период между «моментами» усиления сейсмичности (увеличения количества сильных землетрясений) — 2,5—3 столетия.

«ЖИВАЯ» ТЕКТНИКА СЕВЕРНОЙ АНАТОЛИИ

Сведения о землетрясениях Турции исключительно интересны не только для сейсмологов и геологов, изучающих сеймотектонику этого или смежных регионов. Здесь местами, например вдоль северного края Анатолийского плато, современная тектоническая жизнь настолько активна, что почти «на глазах» возникают разломы. Они рассекают массивы очень плотных горных пород и проходят через горы и долины, независимо от рельефа местности. Развитие этих разломов на глубине и порождает сильные землетрясения, хотя обычно появляющиеся на земной поверхности смещения воспринимаются как последствия землетрясения.

В общих чертах Средне-Анатолийская зона «живых» разломов и связанных с ними плейстосейстовых областей (областей наибольших сотрясений) дугообразной полосой протягивается от Эгейского моря до Ирана

примерно на 1500 км. Она следует близкостроному простиранию альпийских структур страны, но в основном, как показали детальные исследования последствий разрушительных землетрясений, не зависит от альпийской складчатости и рассекает тектонические границы. Область усиления сейсмической и тектонической активности включает огромную территорию. Эпицентральная область 9-балльного Киршехирского землетрясения (19.IV.1938 г.), с которого начался последний период усиления сейсмичности, расположена более чем в 100 км южнее Северо-Анатолийской зоны разломов — в центральной части Анатолийского плато. В результате этого землетрясения между селениями Акпынар и Ташкован образовался сброс длиной около 14 км. По разлому южный блок сместился относительно северного на северо-запад и вверх (вертикальная амплитуда смещения 0,3—0,6 м, горизонтальная — 0,6—1,0 м).

Следующее 9-балльное Эрзинджан-Келькитское землетрясение (28.XII.1939 г.) в Северо-Анатолийской зоне породило 300-километровый разлом и несколько меньших, параллельных ему. Основной разлом протянулся в направлении запад — северо-запад, т. е. от Эрзинджана до Амасьи. Местами он был выражен в виде зияющей трещины до 1—2 м шириной, а иногда в виде сбросового сдвига с горизонтальной амплитудой 2—3 м и вертикальной 1—1,5 м (северный блок по отношению к южному опущен и смещен на восток). Второстепенные параллельные разрывы имели вертикальную амплитуду менее 0,4—

0,5 м. По ним опущены также северные блоки, тогда как в более древней, так называемой Келькитской, линии тектонических дислокаций в этих же местах фиксируется надвиг с опущенным на 100 м южным крылом.

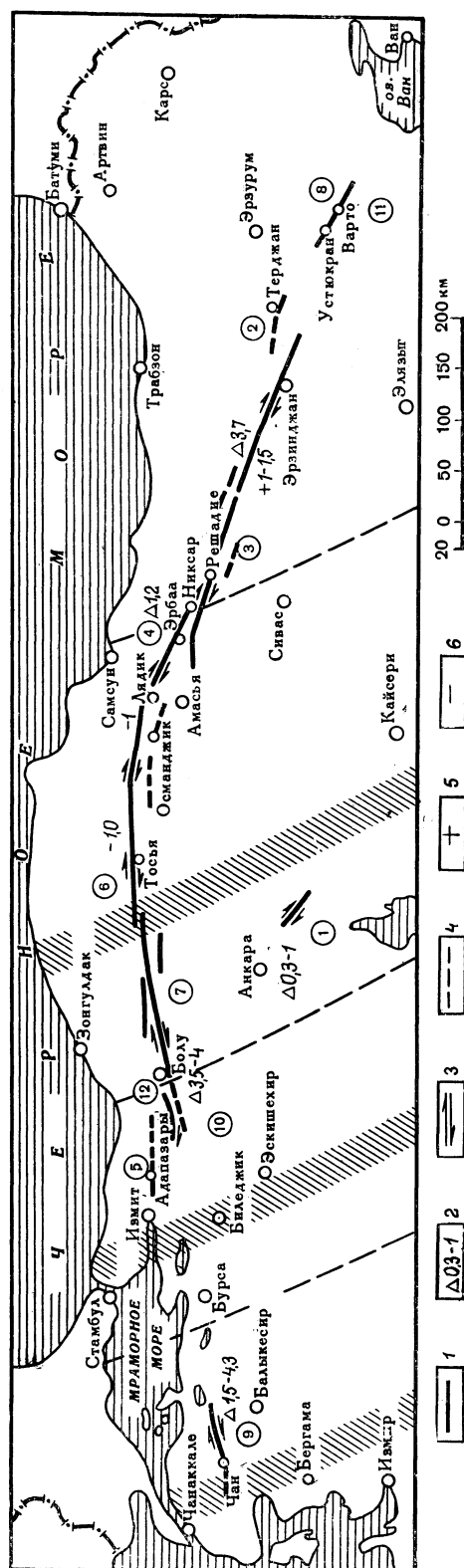
20.XII.1942 г. при Келькитском землетрясении в районе Эрбаа, в 12 км севернее основного разлома предшествующего землетрясения, образовался разлом также северо-западного простирания длиной более 35 км. Этот разлом перерезал и сместил шоссе Никсар — Эрбаа, причем южная часть разлома поднялась над северной на 0,4—0,5 м. Горизонтальное смещение изменялось от 0,5 до 1,0 м.

Западнее, в округе Кастамону, при 9—10-балльном землетрясении (27.XI.1943 г.) возникло новое нарушение залегания пород на протяжении 280 км. Здесь северный блок опустился по отношению к южному на 0,9—1,0 м. Горизонтального смещения не наблюдалось. Отмечено, что новая тектоническая линия не соответствовала старым тектоническим элементам. Она рассекла, например, древний Илгазский массив, сложенный кристаллическими породами палеозоя. На западе этот сброс протянулся до того места, где при следующем 10-балльном землетрясении (1.II.1944 г.) началась зона нового разрыва. Этот разрыв длиной в 180 км прошел через города Гереде и Болу. Смещение заборов в Гереде, а также шоссе Болу — Илиса показывает на движение южного блока к западу при одновременном поднятии его на 0,4—1,0 м.

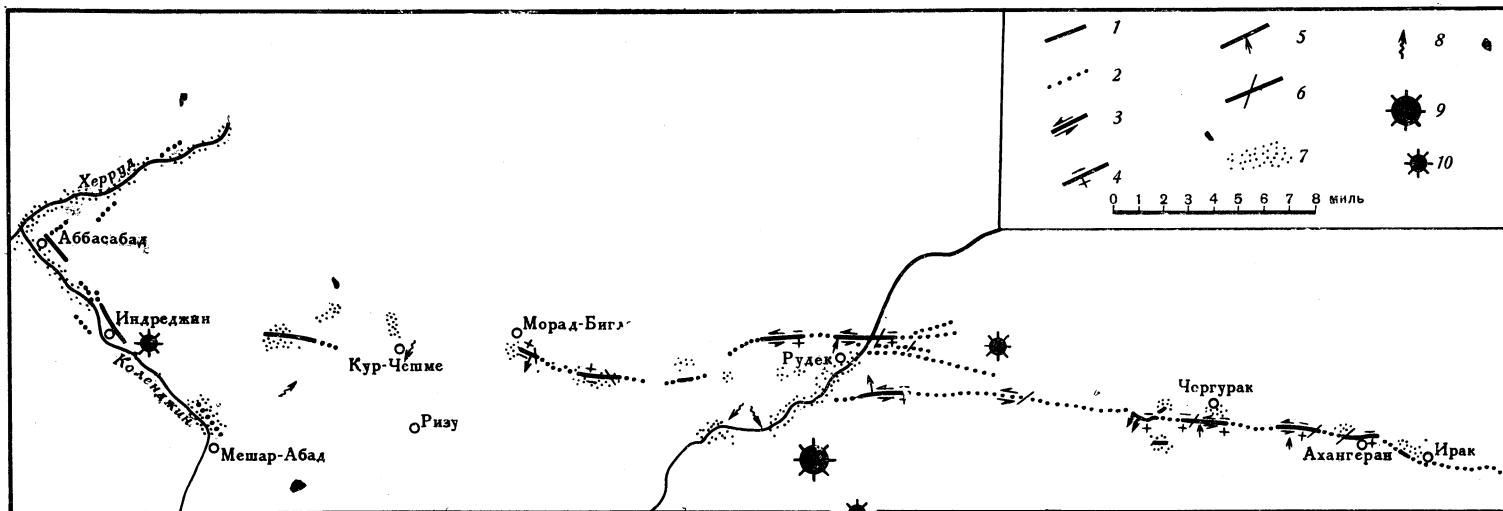
Плейстосейстовые области всех землетрясений 1939—1944 гг. очень вытянуты в направлении простирания хребтов. Эпицентральные области землетрясений, как бы наращивая друг друга, составляют дугу Северо-Анатолийской зоны разломов, обращенную выпуклостью к северу и в общих чертах повторяющую очертания берега Черного моря.

При более слабых землетрясениях новые разломы не возникали, но старые обнаруживали «признаки жизни». 8-балльное землетрясение в Варто (Восточная Анатолия, 31.XII.1946 г.) наиболее сильно проявилось вдоль разлома, проходящего в северо-западном направлении между городами Варто и Устюкрам. Турецкие геологи считают этот разлом второстепенным и не связывают с Северо-Анатолийской зоной, хотя он и расположен, как будто, на ее юго-восточной ветви.

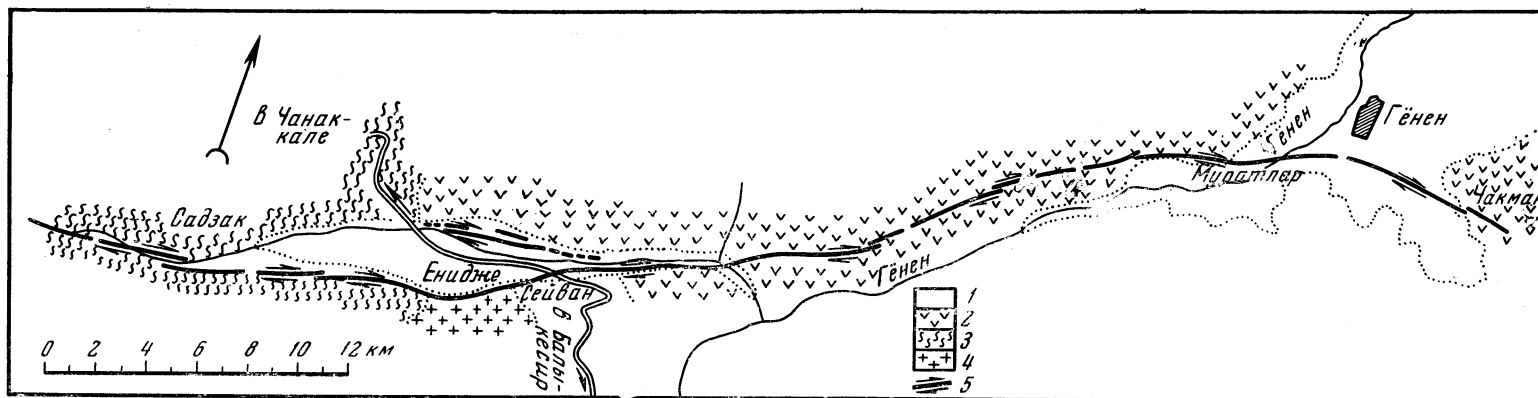
Новое землетрясение со значительными видимыми смещениями произошло на крайнем западе Турции 18.III.1953 г. Его плейстосейстовая 9-балльная область охватывает большой полуостров к югу от Дарданелл,



РАЗЛОМЫ СЕВЕРНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНАТОЛИИ, сейсмически активные в течение последних лет: 1 — разломы с горизонтальным смещением; 2 — размер горизонтального смещения в метрах; 3 — направление относительного смещения; 4 — разломы без горизонтального смещения; 5 — поднятый блок; 6 — опущенный блок (цифрами обозначена вертикальная амплитуда в метрах). Землетрясения (в кружках 1—12): 1—19.IV.1938 г.; 2—21.XI.1939 г.; 3—28.XII.1939 г.; 4—20.XII.1942 г.; 5—29.VI.1943 г.; 6—27.XI.1943 г.; 7—1.II.1944 г.; 8—31.V.1946 г.; 9—18.III.1953 г.; 10—26.V.1957 г.; 11—19.VIII.1966 г.; 12—22.VII.1967 г. (По Д. Кетинчу)



РАСПОЛОЖЕНИЕ РАЗРЫВОВ, возникших при землетрясении 1.IX 1952 г. в Западном Иране (по Н. Амбрезису): 1 — разрывы со смещением; 2 — следы разрыва; 3 — левый сдвиг; 4 — вертикальное смещение вниз (—) и вверх (+); 5 — надвигание; 6 — трещины растяжения; 7 — оползни; 8 — новые источники; 9 — эпицентр главного толчка; 10 — эпицентры афтершоков



КАРТА РАЗЛОМОВ в районе Гёнен — Енидже (по И. Кетинцу): 1 — аллювий; 2 — лавы и туфы; 3 — метаморфические сланцы; 4 — гранит; 5 — линии разлома (стрелки показывают направление относительного смещения)

часть залива Эдремит и греческий остров Лесбос. В районе Гёнен-Енидже возник разлом, прослеживающийся на протяжении 50 км через горы и долины. Как отмечают исследователи, характер этого разлома мало зависит от местной смены пород. Движение по разлому почти горизонтальное: юго-восточный блок смещается в юго-западном направлении в районе Гёнен на 1,5 м; в Енидже — на 3,3 м, а в западной части разлома на 4,3 м. Вертикальная компонента изменяется в зависимости от рельефа местности и характера пород, но она значительно меньше горизонтальной. Падение разлома близ поверхности почти вертикальное. Этот разлом рассматривается как западное продолжение Северо-Анатолийской зоны разломов; от разломов, образовавшихся при землетрясении 1944 г., его отделяют менее 200 км.

В западной части Северо-Анатолийской зоны видимые разломы возникли также при землетрясениях 26.V.1957 г. и 22.VI.1967 г. Изучавшие последствия землетрясения 1967 г. Н. Амбрезис, А. Затопек и М. Ташдемироглу (сообщение на XIV ассамблее Международного геодезического и геофизического союза) установили, что вновь образовавшийся правосторонний сдвиг протянулся на 100 км. Причем, на протяжении 40 км он следовал разлому, появившемуся после землетрясения 1957 г. Величина горизонтальных смещений изменялась от нескольких сантиметров до двух метров; одновременно северный блок опускался. Но одновременность здесь только относительная: исследователям известно, что горизонтальные борозды смещения пересекаются вертикальными.

О ЧЕМ «РАССКАЗЫВАЕТ» СЕЙСМИЧНОСТЬ?

Всюду в Северо-Анатолийской зоне разломов северные блоки или крылья испытывали по отношению к южным опускание и смещение к востоку, причем горизонтальное перемещение достигало четырех с лишним метров, а вертикальное не превышало двух. Как можно это истолковать? О каких движениях земной коры свидетельствуют такие перемещения?

Сторонники доминирующей роли горизонтальных движений видят в этих данных подтверждение своих гипотез. Так, например, итальянский ученый Н. Павони пришел к заключению, что ведущим процессом здесь является горизонтальное движение вдоль Се-

веро-Анатолийской зоны разломов, которая, по его предположению, проходит через Иран до берегов Персидского залива с сохранением восточного и юго-восточного смещения северных блоков. Эта зона, по его мнению, входит в систему больших сдвигов, рассекающих альпийские складчатые цепи. Н. Павони не смущает, что (по данным Н. Амбрезиса) при землетрясении 1.IX.1962 г. в Западном Иране горизонтальные смещения вдоль новообразованных разрывов, расположенных на предполагаемом продолжении Северо-Анатолийской зоны, имели противоположную направленность. В то же время знак вертикального перемещения сохранялся, т. е. северные блоки опускались, их относительное горизонтальное перемещение происходило не в восточном, а в западном направлении.

Это противоречие разрешается, если связать сейсмичность с развитием вертикальных колебательных тектонических движений. На эту связь, как уже говорилось, указывает также и периодичность усиления сейсмической активности во времени. Так решает вопрос турецкий ученый И. Кетин. Он считает Кизилирмакское землетрясение 1938 г. первичным, главным землетрясением, а более поздние землетрясения Северо-Анатолийской зоны — вторичными, связанными с образованием раздвигов и сдвигов, компенсирующих горизонтальное растяжение при развитии общего воздымания Кизилирмакского массива. Быть может, правильнее было бы говорить не о поднятии одного только этого массива, а о воздымании всей полосы срединных массивов по отношению к расположенным севернее Черноморской и Южно-Каспийской глубоководным впадинам или об относительном опускании впадин, — но это не меняет принципиальной сущности проблемы. Процесс развивается неравномерно: раньше всего начинаются восходящие движения в осевых зонах так называемых поперечных поднятий, откуда они распространяются на поперечные прогибы, разделяющие поднятия, и охватывают уже всю территорию срединных массивов.

В Тавро-Кавказском отрезке альпийской складчатой области прослеживается несколько таких зон поперечных поднятий: через озера Ван и Урмия проходит самое значительное Транскавказское поднятие, которое прослеживается от Русской платформы до Аравийской. Возможно, что порождающая рассматриваемые землетрясения концентрация напряжений в земной коре возникает в связи с развитием восходящих движений в

этой поперечной зоне. В таком случае, вполне закономерна различная направленность компенсирующих растяжение при воздымании горизонтальных смещений восточнее зоны — в Иране, и западнее — в Турции.

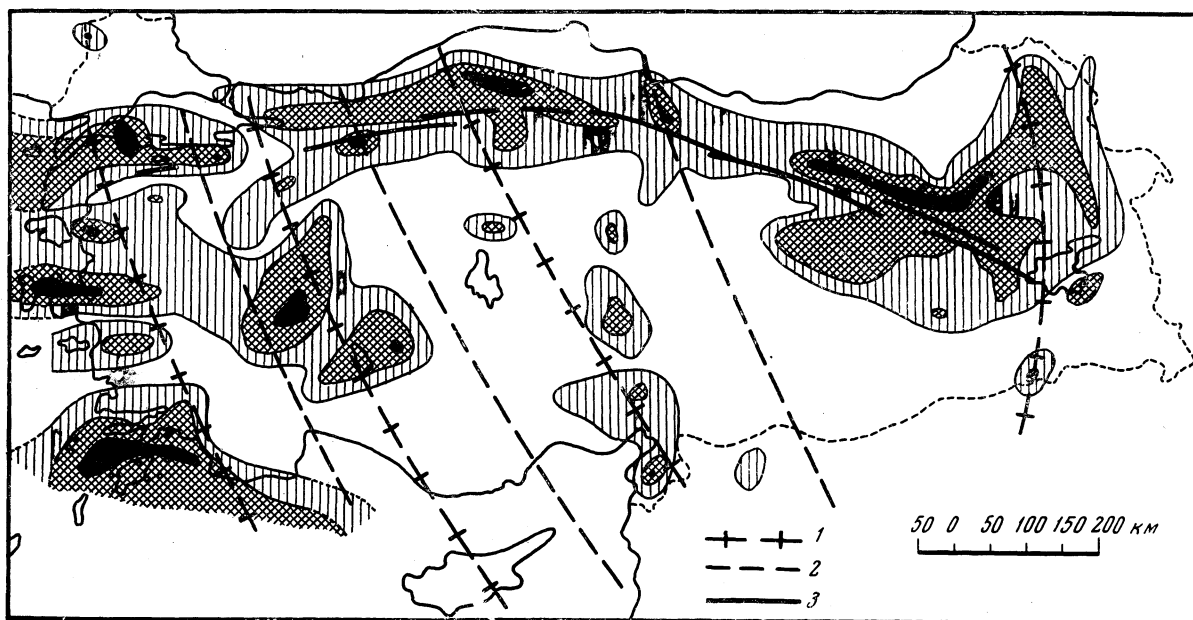
Связь сейсмической активности с поперечными зонами очень четко вырисовывается и на карте распределения энергии, выделившейся при землетрясениях. Карта составлена турецким сейсмологом Н. Очелом. Замкнутые овалы, соответствующие максимальным значениям сейсмической энергии, явно тяготеют к крыльям поперечных поднятий, независимо от того, оконтуриваются эти овалы в Северо-Анатолийской зоне разломов или за ее пределами. Это отнюдь не кажется удивительным: аналогичная закономерность в распределении сейсмической активности была уже установлена для Кавказа.

На Кавказе выделяются сейсмические зоны в основном двух направлений: продольные, соответствующие региональным простираниям структур, и поперечные к ним. И те, и другие связаны с зонами длительно «живущих» глубинных разломов, которые на разных этапах своей жизни оказывали сущест-

венное влияние на геологическую историю прилегающих областей. Оказалось, что в большинстве случаев повышенная сейсмическая активность свойственна участкам пересечения различно ориентированных глубинных структур с разной глубиной заложения. Так например, Шемахинская эпицентральной область, где за последнее столетие неоднократно происходили разрушительные землетрясения, представляет сейсмогенетический «узел» — пересечение зоны глубинного разлома общекавказского простирания, идущего вдоль южного склона Большого Кавказа и западно-каспийского поперечного глубинного разлома. Зона повышенной сейсмичности Ахалкалакского нагорья также находится на пересечении глубинных структур.

Следует заметить, что и в Западном Иране эпицентральной области разрушительных землетрясений Хамаданского (13.XII.1957), Нехавендского (16.VIII. 1958) и Буюн-Заринского (1.IX.1962) также, как будто, располагаются на склоне поперечного поднятия, выделенного на тектонических картах Ирана.

В общем, распределение сейсмичности показывает, что в настоящее время на доволь-



КАРТА ИЗОЛИНИЙ РАВНОЙ ЭНЕРГИИ, выделившейся при землетрясениях в Турции за последние 110 лет (По Н. Очелу). Интенсивность плотности штриховки соответствует увеличению количества энергии: 1 — оси поперечных поднятий; 2 — оси поперечных прогибов; 3 — разломы Северо-Анатолийской зоны

но большой территории Тавро-Кавказского отрезка альпийского складчатого пояса активными являются и продольные, и поперечные геотектонические элементы.

Это обстоятельство представляется очень важным не только для целей сейсмораионирования, но и для постановки задач, существенных при решении ряда геотектонических вопросов и, прежде всего, **вопроса о соотношении зон продольных и поперечных глубинных разломов.** Последний, в свою очередь, связан с более общей проблемой геотектонической зональности.

Зоны продольных и поперечных глубинных разломов намечаются по ряду геологических признаков, и поэтому ни факт их существования, ни длительность развития, ни геологическая давность возникновения почти не вызывают дискуссий. Много ведется споров об абсолютных глубинах заложения систем длительно живущих разломов и об относительной их глубине. По Н. С. Шатскому и В. В. Белоусову, более глубокими являются поперечные разломы, поскольку они пересекают и геосинклинальные зоны, и платформы. Это мнение подкрепляется данными о характере распространения сотрясений при различных землетрясениях Кавказа. В то же время некоторые авторы утверждают, что поперечные глубинные разломы имеют более близкое к поверхности заложение.

Окончательное решение вопроса об относительной глубине зон разной ориентировки зависит от всестороннего анализа сейсмического материала: группировки очагов землетрясений по глубинам, энергиям, механизму смещений по разрывам, последовательности, волновой картине и т. д.

Спорным является и вопрос о времени формирования разломов. Не исключено, что обе системы (продольная и поперечная) возникли одновременно. Ответ на этот вопрос должен дать анализ геологической истории всего региона, что будет возможно после накопления геологических данных. В какой-то мере поможет еще сопоставление с результатами геологических экспериментов, которые показывают, что при одновременном существовании разломов разного направления и глу-

бины, поднятие или опускание одного из крыльев более глубоких разломов должно вызвать активизацию и движение на участках разломов более высокого этажа. Возникновение новых участков продольных разломов в Северо-Анатолийской зоне, в первую очередь на крыльях поперечных поднятий, как будто бы, свидетельствует именно о частичном «вспарывании» верхнего тектонического шва при глубинном воздымании под одним из его участков.

Е. И. Широкова, изучая общие закономерности ориентировки главных напряжений в очагах землетрясений средиземноморско-азиатского сейсмического пояса, установила некоторые отличия турецких землетрясений от кавказских и иранских. Оказалось, что турецкие землетрясения характеризуются субгоризонтальной ориентировкой оси напряжения-растяжения и сбросово-сдвиговым характером движений по крутопадающим поверхностям разрывов. У иранских и кавказских землетрясений эта ось располагается почти вертикально, и там преобладают движения типа надвига и взброса. Эти данные очень интересны, но в основном землетрясения этого региона еще ждут сопоставления глубинных данных с поверхностными. Необходимо детально изучить все материалы последних турецких и иранских землетрясений и проанализировать их механизм в совокупности с исследованием геофизических полей тех районов, где произошли землетрясения.

Все изложенное, безусловно, стóит того, чтобы и геологи, и геофизики обратили особое внимание на Северо-Анатолийскую зону как на очень интересный «эксперимент», который природа предоставила для всесторонней проверки различных теоретических построений о характере деформаций земной коры и формах структурного контроля за сейсмичностью.

Не исключено, что именно на примере этих землетрясений можно будет понять, как, в какой последовательности и по каким зонам происходит разрядка накапливающихся в толще земной коры напряжений, как распределяются очаги в пределах продольных и поперечных зон, какие из них являются более глубинными и т. п.

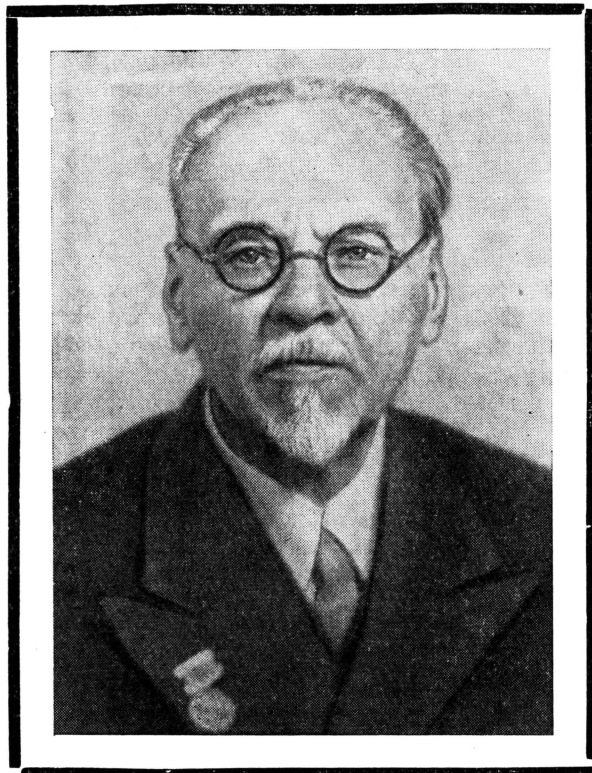
Павел Иванович Попов

24 марта 1969 г. на 88-м году жизни скончался член КПСС с 1938 г., почетный член Всесоюзного астрономо-геодезического общества при Академии наук СССР, профессор Павел Иванович Попов. Всю свою жизнь П. И. Попов посвятил благородному делу распространения и развития астрономического образования в нашей стране.

Павел Иванович Попов родился 12 декабря (30 ноября по старому стилю) 1881 г. в селе Безобразове Смоленской губернии, в семье почтового служащего. Материальные затруднения в семье заставили Павла Ивановича рано начать трудовую жизнь. Будучи гимназистом старших классов, он давал частные уроки по физике и математике.

В 1900 г. после окончания гимназии П. И. Попов поступил на физико-математический факультет Московского университета, но в 1901 г. был арестован за участие в революционных студенческих сходках и выслан из Москвы под надзор полиции. В 1902 г. он возвращается в университет, снова участвует в революционном движении и снова — арест, тюрьма, исключение из университета. Лишь осенью 1903 г. П. И. Попов получает разрешение продолжить занятия в университете. Но П. И. Попов не прекращает революционной деятельности. В составе студенческих боевых дружин он активно участвует в Декабрьском вооруженном восстании 1905 года, за что в третий раз был исключен из университета. Осенью 1906 г. его восстанавливают в студенческих правах, и к лету 1907 г. он успешно заканчивает университет с дипломом 1-й степени.

В университете П. И. Попов изучал астрономию под руководством молодых, но уже известных астрономов того времени: С. А. Казакова и С. Н. Блажко. Первую научную работу по астрономии П. И. Попов выполнил еще в студенческие годы. Окончив университет, он начал работать в астрономической обсерватории при Московском университете,



а затем перешел на преподавательскую работу.

С 1908 г. П. И. Попов — член только что созданного Московского кружка любителей астрономии, вскоре преобразованного в Московское общество любителей астрономии. Дальнейшая его творческая жизнь была тесно связана с этим обществом, вошедшим в 1932 г. на правах Московского отделения во Всесоюзное астрономо-геодезическое общество (ВАГО).

П. И. Попов прекрасно понимал общеобразовательное значение астрономии для формирования марксистско-ленинского мировоз-

зрения и атеистического воспитания молодежи. Если просмотреть научно-методические и научно-популярные журналы 20—40-х годов (например, «Математика и физика в школе», «Физика в школе», «Мироведение»), то можно найти в них немало статей, принадлежащих перу П. И. Попова и посвященных совершенствованию преподавания астрономии как самостоятельного школьного учебного предмета.

В 1933 г. П. И. Попов избирается членом Правления Московского отделения, а в 1939—1940 гг. — его председателем. С 1934 г. П. И. Попов — член Правления (а в дальнейшем — Центрального совета) ВАГО. По инициативе П. И. Попова в 1933 г. в отделениях, а в 1934 г. и в Центральном совете ВАГО создаются школьные секции. Эти секции в послевоенные годы преобразуются в учебно-методические. В сферу их деятельности входят не только средние школы, но и высшие учебные заведения. Четверть века, с 1934 по 1960 г., Павел Иванович Попов был бессменным председателем учебно-методической секции Центрального совета ВАГО. Он провел очень ценную и трудоемкую работу, составляя учебные планы и программы по астрономии для средних школ и педагогических институтов, а также учебники и наглядные пособия, неустанно заботясь о пропаганде астрономических знаний.

Общительность, высокая культура и научная эрудиция снискали П. И. Попову авторитет и уважение со стороны коллег и позволили ему привлечь к работе в учебно-методических секциях Центрального совета и Московского отделения ВАГО известных профессоров и доцентов, учителей школ и лекторов Московского планетария.

Деятельность Павла Ивановича Попова в ВАГО не ограничивалась учебно-методическими вопросами. Когда в 1939 г. начал издаваться «Бюллетень ВАГО», ответственным редактором этого научного журнала был назначен П. И. Попов. До 1956 г. он возглавлял журнал, а членом его редакционной коллегии был до 1966 г. Стремясь отразить в журнале всю деятельность ВАГО, П. И. Попов приложил немало усилий, чтобы придать журналу не узкоспециальный, а широкий профиль. «Бюллетень ВАГО» получил значительную известность и распространение в Советском Союзе и за рубежом.

В 1960 г., когда П. И. Попову исполнилось 78 лет, состояние его здоровья ухудшилось, и он не смог принять участия в работе III съезда ВАГО. Но все же на съезде был зачитан его доклад, написанный совместно с профессором Р. В. Куницким, «Современное состояние и перспективы преподавания астрономии в средней школе».

За заслуги в развитии астрономического образования и за активную работу в ВАГО съезд избрал Павла Ивановича Попова почетным членом общества.

Прекрасный педагог, П. И. Попов был соавтором нескольких учебников по астрономии для педагогических институтов. Учебник, написанный в 1940 г. П. И. Поповым, К. Л. Баявым, Б. А. Воронцовым-Вельяминовым и Р. В. Куницким, к 1967 г. выдержал пять изданий. Этот учебник до сих пор является основным пособием для студентов физико-математических факультетов педагогических институтов. Для географических факультетов педагогических институтов П. И. Попов написал специальный учебник, изданный в 1959 г. В соавторстве с Н. Я. Бугославской П. И. Попов составил первый практикум по астрономии для педагогических институтов.

В 1937 г. П. И. Попов возглавил кафедру астрономии Московского государственного педагогического института имени В. И. Ленина, которой руководил до 1958 г. Многие годы П. И. Попов был членом редколлегии журнала «Физика в школе», председателем ученого совета Московского планетария, членом Учебно-методического совета Министерства просвещения РСФСР.

За заслуги в революционном движении и развитии народного образования Павел Иванович Попов был награжден орденом Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, медалью Ушинского, медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне», значком «Отличник народного просвещения».

Жизнь и деятельность П. И. Попова оставили яркий след в развитии астрономического образования в нашей стране и долго будут служить образцом самоотверженного труда на благо Родины. Светлая память о Павле Ивановиче Попове, скромном, отзывчивом и обаятельном человеке, навсегда сохранится в сердцах знавших его людей.

М. М. ДАГАЕВ
доцент



Физика поверхностного слоя Луны

(Заметки участника Международного симпозиума по физике Луны и планет. Киев, октябрь, 1968 г.).

Значительная часть наших современных представлений о Луне получена из наблюдений ее поверхности. Характер рельефа, химический состав, структурные особенности грунта и т. д. — все эти сведения помогают воссоздать историю Луны и могут рассказать о процессах, сформировавших облик лунного шара в целом и его отдельных областей.

В последнее время становится более очевидным, что свойства различных районов лунной поверхности нельзя описать какими-либо средними, универсальными законами. Совершенствующаяся техника экспериментов позволяет выявлять все новые и новые особенности разных областей Луны.

Обобщению основных методов исследования лунного покрова, связи результатов астрофизических исследований и прямых экспериментов, проводимых с использованием космической техники, а также сопоставлению различных наблюдаемых параметров поверхности Луны был посвящен обзорный доклад О. Дольфюса (Франция).

Основные сведения о лунном грунте получены при обработке прямых исследований, выполненных советскими автоматическими станциями серии «Луна» (А. П. Виноградов, Ю. А. Сурков, К. П. Флоренский, И. И. Черкасов, В. В. Шварев. СССР) * и американскими космическими аппаратами серии «Сервейер» (Л. Джаффи. США).

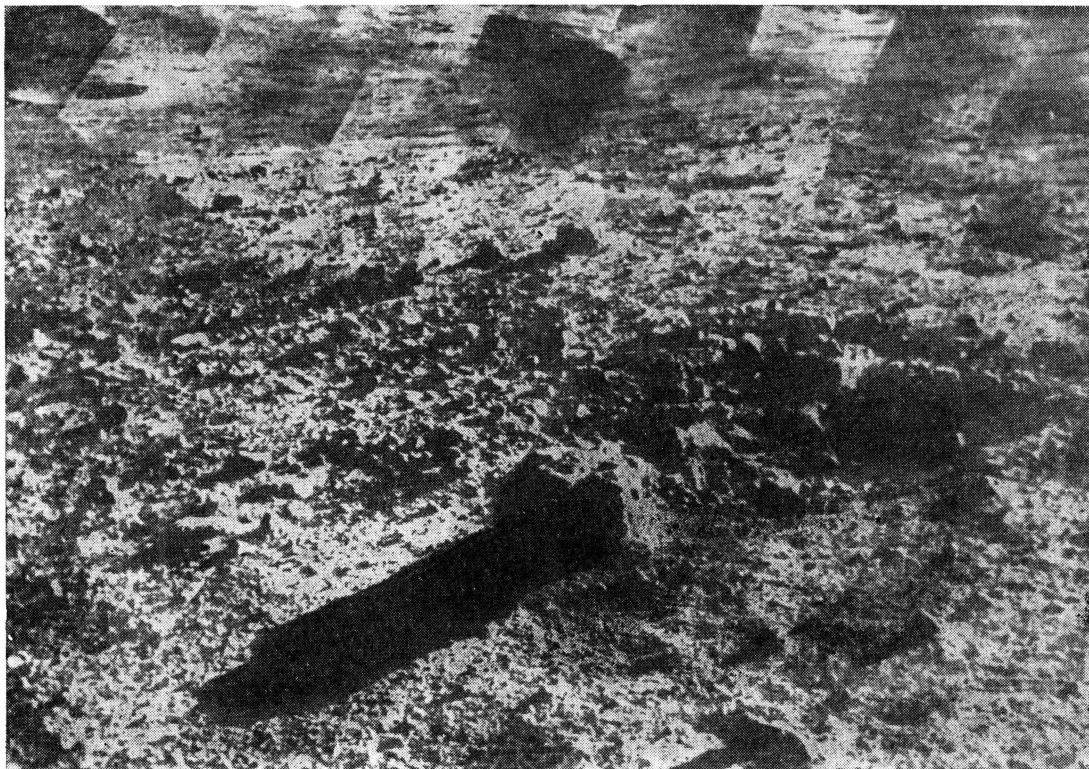
Покров Луны состоит из зернистого, слабосвязанного материала с размерами отдельных гранул менее миллиметра. Этот слой покрывает на более плотных породах, глубина залегания которых на материках — около одного метра, а в морских обла-

стях — от одного до нескольких метров. Плотность зернистого слоя изменяется с глубиной. Анализ прямых измерений указывает на увеличение плотности в 1,5 раза на глубине около 5 см, что хорошо согласуется с наземными радиоастрономическими наблюдениями (В. Н. Гольдберг, В. С. Троицкий, О. Б. Щуко. СССР). Поверхность «присыпана» фрагментами породы размером от нескольких миллиметров до нескольких метров (иногда до нескольких десятков метров).

Оптические свойства отдельных небольших участков поверхности, наблюдавшихся вблизи, оказались такими же, как и свойства всей лунной поверхности, известные по наземным наблюдениям. Интересные особенности выявились при механических воздействиях на грунт. Так, на панорамах, переданных АЛС «Луна-13», видно, что участки поверхности, на которые станция оказывала небольшое давление, стали более яркими, чем окружающая местность. По-видимому, это связано с разрушением пористой структуры и дроблением гранул. Аналогичные эффекты можно было наблюдать и на снимках, переданных аппаратами «Сервейер». При удалении верхнего слоя грунта обнажались темные слои. Толщина верхнего, более светлого слоя не превышает 1 мм. Если отражающая способность этого слоя в морских областях составляет примерно 8%, то подповерхностный материал отражает только 6% падающего света. В материковых областях отражающая способность поверхностного слоя и слоя, залегающего на глубине 1 мм и более, несколько выше — 13 и 10% соответственно.

Прямые исследования позволили детализировать многие свойства покрова Луны, известные ранее по наземным наблюдениям. Одновременно, сведения, полученные космическими аппаратами в отдельных, весьма

* Подробнее о механических свойствах лунного грунта см. в статье И. И. Черкасова и В. В. Шварева «Первые результаты непосредственных исследований грунта Луны». «Земля и Вселенная», № 2, 1968 г. (Ред.)



МАТЕРИКОВЫЙ ЛАНДШАФТ К СЕВЕРУ ОТ КРАТЕРА ТИХО (мозаика снимков, полученных с космического аппарата «Сервейер-7»). На поверхности видны многочисленные обломки породы размером менее метра, что характерно для материкового ландшафта Луны

малых по площади районах, дают основание для экстраполяции этих результатов на более обширные области, внутри которых сохраняется однородность оптических и других свойств, наблюдаемых с Земли. Оптические и радиолокационные данные показали в свое время, что лунный грунт характеризуется относительно высоким содержанием железа. Данные, основанные на химическом анализе грунта, свидетельствуют, что поверхностный материал Луны ближе всего подходит к ферробазальтам. И во многих других случаях сопоставление наземных наблюдений и прямых измерений приводит к столь же хорошему согласию (Б. Хапке, США).

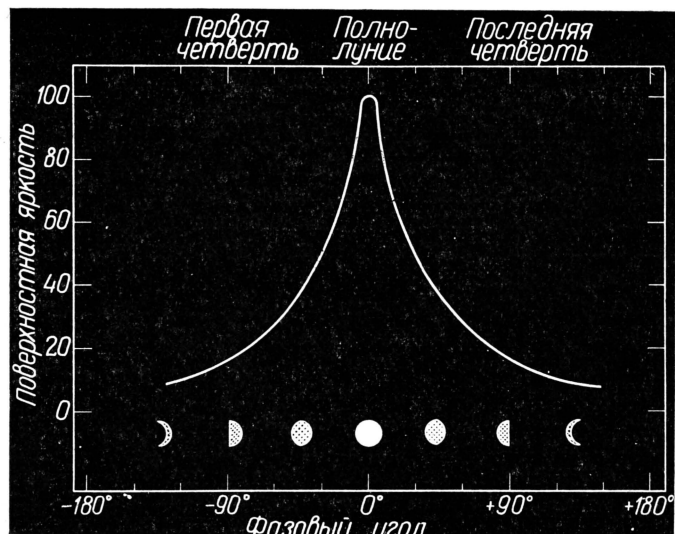
Основное и издавна известное разделение лунной поверхности на моря и материки обогащается теперь рядом подробностей. Измеренная с орбиты искусственного спутника Луны интенсивность гамма-излучения оказалась над морскими областями в 1,15—1,20 раза выше, чем над материковыми

(А. П. Виноградов и др.). Этот результат приводит к выводу о том, что лунные моря сложены породами основного (базальтового), а материки — породами ультраосновного (дунитового) состава или смешанного: основного и ультраосновного*. Некоторая разница в химическом составе морской и материковой областей установлена и в процессе измерений космическими аппаратами серии «Сервейер». Вариации тепловых и электрических свойств при переходе от морской к материковой поверхности обнаружены радиоастрономическими методами. Причину этих различий видят также в ином химическом и минералогическом составе морей и материков (сообщение Б. Я. Лосовского, СССР).

В оптической астрономии сейчас разрабатываются методы, которые должны выявить

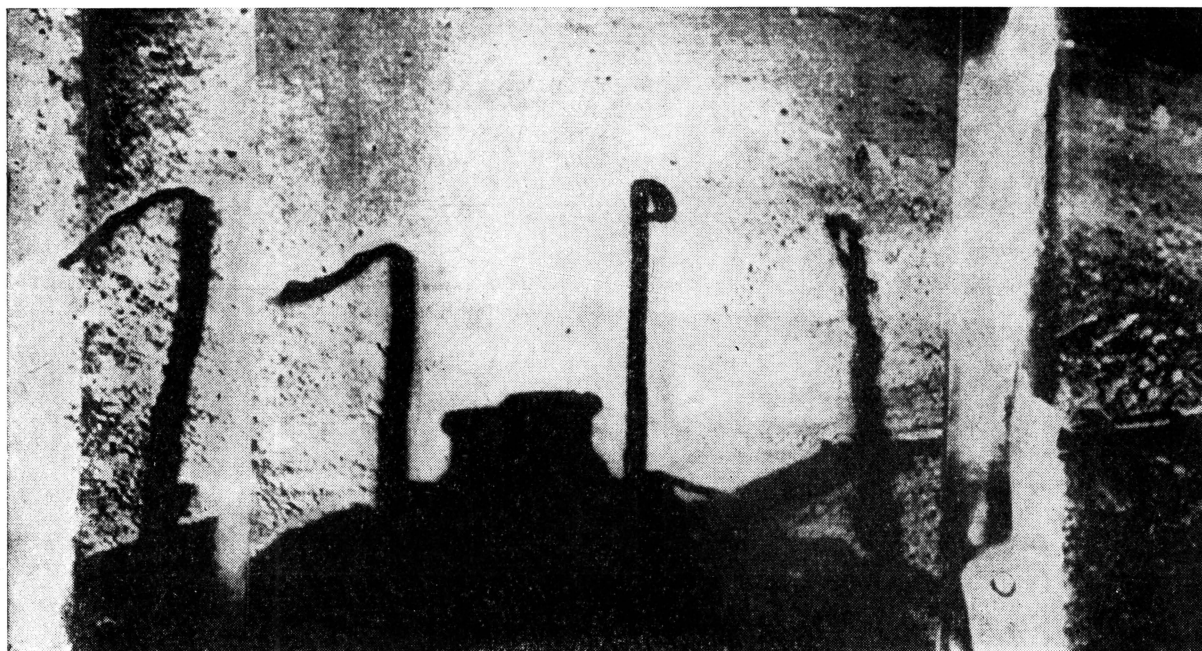
* Подробнее об этом см. в статье Ю. А. Суркова «Новое о лунном веществе». «Земля и Вселенная», № 6, 1967 г. (Ред.)

ИЗМЕНЕНИЕ ЯРКОСТИ освещенной части лунного диска в зависимости от фазы. В момент, когда наблюдатель видит лунную поверхность со стороны Солнца (полнолуние), яркость резко возрастает



различия в пределах довольно небольших площадей. Так, шероховатость пород может быть определена по величине градиента яркости тех или иных областей, наблюдаемых при малых углах фазы, т. е. вблизи полнолуния (Н. П. Барабашов, Л. А. Акимов, СССР). Теоретические и лабораторные иссле-

дования показывают, что для сильно иссеченной породы характерно резкое возрастание яркости с приближением к фазе, равной нулю. Менее шероховатая поверхность реагирует на такое изменение условий освещения более спокойным возрастанием яркости. Особое значение данный метод, по-видимому,



ФРАГМЕНТ ПАНОРАМЫ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ, переданный советской АЛС «Луна-13». Так же как и при наблюдениях Луны с Земли, яркость участков грунта, наблюдаемых при малых фазовых углах непосредственно на лунной поверхности, резко возрастает, образуя светлый ореол вокруг тени станции

приобретет в будущем. Ведь на Земле, как известно, возможности фотометрических наблюдений при малых фазовых углах ограничены: уменьшение фазы происходит лишь до определенного момента, после которого Луна входит в тень Земли и начинается лунное затмение. А с космических аппаратов можно будет проводить наблюдения Луны при малых фазовых углах вплоть до истинного полнолуния.

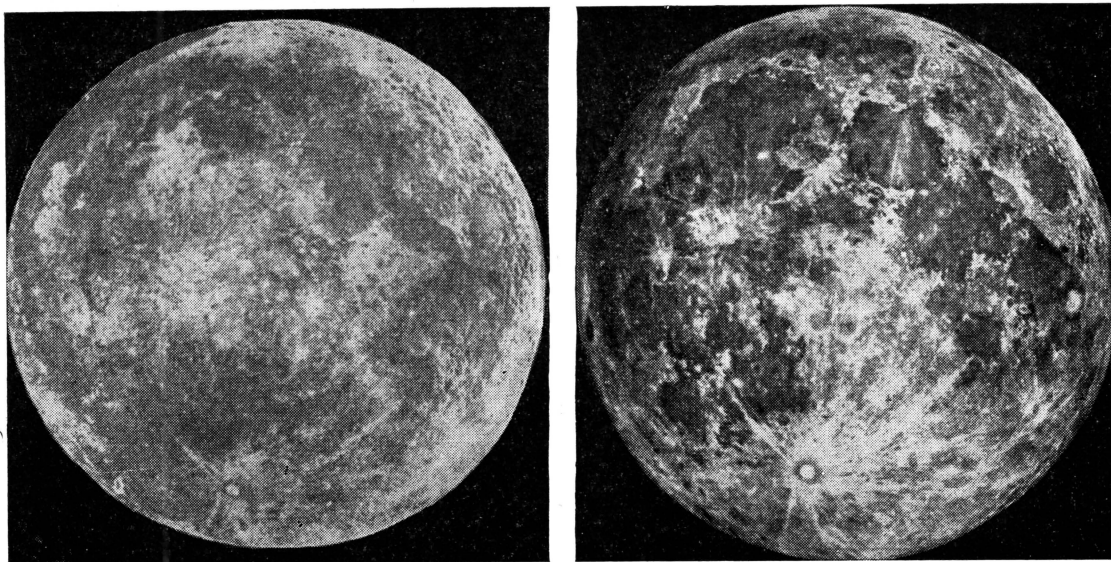
Интересные особенности в распределении поляризации по диску Луны обнаружены при наблюдениях с поляровизором-дискриминатором (В. П. Джапиашвили, А. Н. Король, Л. В. Ксанфомалити, В. К. Лохов. СССР). На поляризационной картине лунной поверхности некоторые детали не удалось отождествить с какими-либо подробностями рельефа.

Как известно, различия в окраске участков лунной поверхности визуально почти не наблюдаются. Луна кажется серым, бесцветным объектом. Но сравнительные наблюдения со светофильтрами, имеющими максимум пропускания в синей или фиолетовой области и в красной области спектра, выявляют достаточно четкое, хотя и очень малое различие цветности некоторых участков, относящихся, как правило, к морской поверхности. Путем фото-

электрического сканирования диска Луны составлена карта показателей цвета для двух светофильтров с эффективными длинами волн 440 мкм и 650 мкм (Л. А. Акимов, В. С. Цветкова. СССР). Цветовые аномалии выявились и при наблюдениях в инфракрасной области, в диапазоне волн 0,8—2,2 мкм, ста небольших (поперечником около 7 км) участков лунной поверхности (Д. Крукшенк. США). Интересно, что обнаруженные в визуальной области спектра цветовые различия в Море Дождей и в Центральном заливе не зарегистрированы при наблюдениях в инфракрасной области. Эти результаты использовались при составлении геологических карт Луны с целью выделения участков, относимых к различным возрастным периодам.

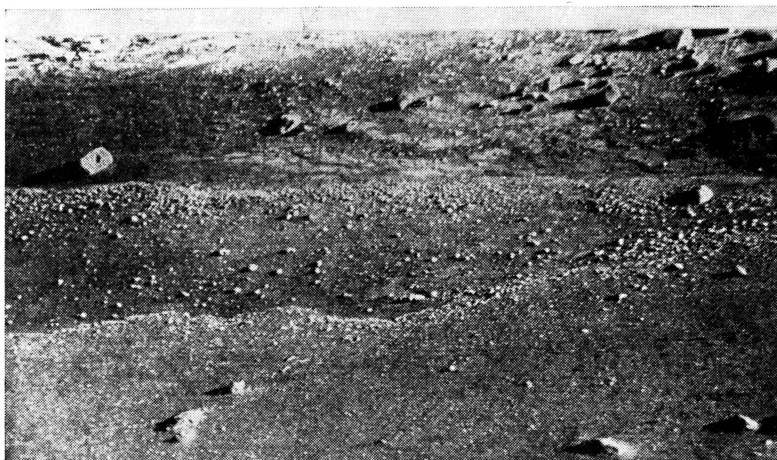
Неоднородности, обнаруженные в физических свойствах морских областей лунной поверхности, не были полной неожиданностью. При внимательном рассмотрении ландшафтов лунных морей можно внутри одного и того же бассейна найти участки, отличающиеся характером рельефа и альбедо. Лунные моря расположены на разных высотных уровнях. Многие морфологические признаки говорят о разных эпохах образования отдельных областей внутри них.

Но, пожалуй, более удивительна неоднород-



КОМБИНИРОВАННЫЙ СНИМОК ЛУНЫ (слева), показывающий распределение цветности на ее видимом полушарии. Более темный тон соответствует большей насыщенности красного цвета. Снимок составлен из двух фотографий, полученных соответственно в ультрафиолетовых и красных лучах. Если мы сравним комбинированный снимок с фотографией Луны (справа), то можно увидеть, что контуры «окрашенных» областей, как правило, не совпадают с топографическими границами лунных образований

ФОТОГРАФИЯ одного из районов Камчатки, изучавшегося с самолета поляризационным и спектральными методами. Насколько велико внешнее сходство камчатского ландшафта с лунным, можно убедиться, сравнив эту фотографию со снимком района кратера Тихо (см. фотографию, помещенную в начале статьи).



ность физических свойств в материковых областях. Как показали глобальные исследования Луны, материк занимает более 80% всей ее поверхности. Различий в характере рельефа материковых областей видимой и обратной сторон Луны не замечено. И тем не менее, исследования физических свойств материковой поверхности, проведенные на основе материалов, полученных советской АМС «Зонд-3», обнаружили ряд особенностей. Обработка инфракрасных спектров 26 участков материковой области Луны позволила установить, что при однородной для всех районов отражательной способности в интервале длин волн 3,5—3,9 мкм выявляются различия, которые связаны с особенностями структуры микрорельефа (Г. А. Лейкин, Т. Е. Швидковская, СССР). Анализ ультрафиолетовых спектров в диапазоне длин волн 1900—2750 Å свидетельствует, что средняя величина цветовых контрастов материковой области составляет 10% при максимальном значении 24% (В. А. Краснополский, Г. А. Лейкин, М. У. Аганина, Т. Е. Швидковская, СССР). Следует учесть, что эти значения относятся к довольно обширным областям (около 500 км в поперечнике). Не исключено, что мелкие детали имеют еще большие различия.

Различия оптических свойств материковых областей подтверждаются и фотометрическими измерениями снимков, полученных автоматической станцией «Зонд-3» (Ю. Н. Липский, В. В. Шевченко, СССР). По некоторым снимкам были построены карты распределения яркости в момент экспозиции каждого кадра. Дальнейшая обработка позволила построить систему изофот, отражающих средний закон распределения яркости. При срав-

нении карт наблюдаемых и осредненных изофот на одних и тех же снимках обнаружены значительные отклонения действительного распределения яркости от среднего значения. Зоны, в которых наблюдаются эти отклонения, охватывают обширные области материка, частично согласуясь с топографическими контурами некоторых лунных образований.

Если обобщить известные сейчас результаты астрофизических исследований, то лунная поверхность предстанет перед нами как пестрая мозаика областей с различными физическими характеристиками. Подобные различия связаны со структурными, минералогическими, механическими особенностями наблюдаемой поверхности. Но не всегда по наблюдаемым свойствам можно восстановить конкретные процессы, формировавшие поверхностный слой Луны. В этом направлении исследований, не менее важным, чем выявление самих неоднородностей, основные результаты достигаются двумя путями. Первый путь — это прямые исследования на поверхности Луны с помощью космических аппаратов; второй — изучение земных аналогов лунного грунта и имитация условий лунной среды.

Поскольку у Луны нет атмосферы, космическое излучение беспрепятственно достигает ее поверхности. Этот важный для лунной среды процесс с некоторым приближением можно воспроизвести в земных условиях, облучая образцы различных пород потоком ионов водорода, гелия, азота (У. А. Арифов, Ш. С. Раджабов, Р. А. Ашмянский, Р. Рахимов, Д. Д. Грунг, М. Ю. Борухов, СССР). В продуктах распыления были обнаружены кислород, азот, углерод, кремний и их соединения. Весьма важными для интерпретации

астрофизических наблюдений оказались данные об изменении оптических свойств поверхности образцов, подвергнутых различным дозам облучения. Этот процесс имитирует различие воздействия потока ионов за промежутки времени, сравнимые с историей Луны. Опыты по нагреву в вакууме распыленных образцов кремния и базальта наглядно показывают, почему на лунной поверхности нет выпучей пыли (Г. В. Крашенинникова, М. Ю. Борохов. СССР). В условиях, близких к лунным, пылевые частицы спекались в блоки с пористой структурой, весьма напоминающей структуру лунного грунта.

На земной поверхности тоже встречаются аналоги лунных пород. Конечно, процессы их формирования отличаются от тех, которые происходят или происходили на Луне, но химический состав и структура соответствуют лунным. Аналогами являются вулканические покровы в отдельных районах земного шара. В Советском Союзе таким «лунным заповедником» можно считать Камчатку. Там поляризационным и спектральным методами были изучены оптические свойства шлаковых по-

лей, лавовых потоков и т. п. (Ю. Н. Липский, М. М. Поспергелис, Г. С. Штейнберг, В. В. Новиков, С. В. Ландау, Л. В. Громова, А. Н. Санович, М. Ф. Шабанов. СССР). Наблюдения велись с самолета на высоте 1000 м. Очень существенно, что полученные фотометрические и колориметрические параметры относятся к обширным площадям. Это обстоятельство значительно повышает правомерность сравнения их с наблюдаемыми параметрами лунной поверхности. Ведь при астрофизических наблюдениях удается исследовать свет, отраженный многокилометровыми участками.

Многое предстоит еще сделать специалистам различных областей науки, прежде чем наши знания о природе Луны и ее поверхности выльются в стройную, завершенную систему. И на пути к этому в равной мере результативными оказываются астрофизические методы, прямые исследования с помощью космической техники и лабораторные эксперименты с земными аналогами лунного покрова.

В. В. ШЕВЧЕНКО

Пленум Центрального совета ВАГО в Свердловске

В январе 1969 г. в Свердловске проходил IV пленум Центрального совета ВАГО, обобщивший итоги деятельности общества за 1968 год и ряд других вопросов. В работе пленума приняли участие свыше 200 человек, в том числе 90 представителей 36 отделений ВАГО.

В докладе президента ВАГО профессора Д. Я. Мартынова были отмечены основные успехи, достигнутые по главным направлениям деятельности общества. За отчетный период работы были организованы и успешно проведены научные и любительские наблюдения полного солнечного затмения 22 сентября 1968 года. В этих наблюдениях участвовали 22 экспедиции от 20 отделений ВАГО. Совместно с Госстроем СССР организовано Всесоюзное совещание по геодезическо-маркшейдерским работам в строительстве. Создано 6 проектов народных астрономических об-

серваторий. В истекшем году успешно работали юношеская и учебно-методическая секции ЦС ВАГО, отделы серебристых облаков и любительского телескопостроения. Утвержден новый «Устав ВАГО».

В одной из аудиторий Уральского государственного университета имени А. М. Горького, в здании которого прошло большинство заседаний пленума, была открыта интересная выставка. На ней демонстрировались новые геодезические инструменты, карты и атласы, созданные за последние годы. Стенды познакомили участников пленума и гостей с Коуровской обсерваторией Уральского университета и трудами уральских астрономов, с работой астрономической обсерватории «Юность» Башкирского отделения ВАГО, а также с первыми результатами наблюдений солнечного затмения многими отделениями ВАГО.

Общественность Свердловска проявила большой интерес к работе пленума, расценивая его как важное событие в жизни города. В исполкоме Свердловского горсовета состоялся прием в честь участников пленума. Местное телевидение посвятило работе пленума краткий репортаж. На страницах газет «Уральский рабочий» (старейшей в нашей стране) и «Вечерний Свердловск» появились статьи и интервью, рассказавшие об итогах работы пленума.

Участники пленума и многочисленные гости с большим вниманием прослушали ряд докладов, включенных в повестку дня пленума. В докладе начальника Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР И. А. Кутузова, посвященном 50-летию советской геодезической службы, были приведены данные об успешном развитии геодезии в нашей стране. Докладчик рассказал о перспективах дальнейшего роста геодезических работ и задачах, стоящих перед советскими геодезистами в подготовке кадров, создании и освоении новых астрономических и геодезических приборов, повышении точности и уровня автоматизации различных видов работ.

Профессор А. А. Изотов посвятил доклад жизни своего учителя — выдающегося геодезиста Ф. Н. Красовского и его работам по теории фигуры Земли.* Итоги Всесоюзного совещания по маркшейдерским работам в строительстве были рассмотрены в докладе А. П. Старицына. М. В. Шульман дал сравнительную оценку двум методам съемки крупного масштаба для целей мелиорации. А. И. Захаров познакомил участников пленума с новыми геодезическими инструментами. С интересным докладом о новых исследованиях пульсаров и квазаров выступил научный сотрудник Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга А. В. Засов.

Ряд докладов был посвящен полному солнечному затмению 22 сентября 1968 года. С подробным рассказом о работе Объединен-

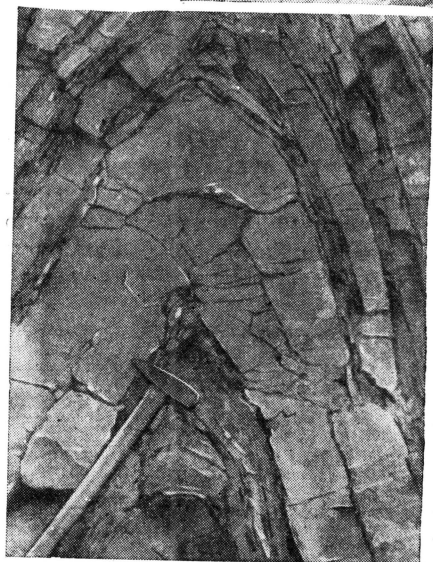
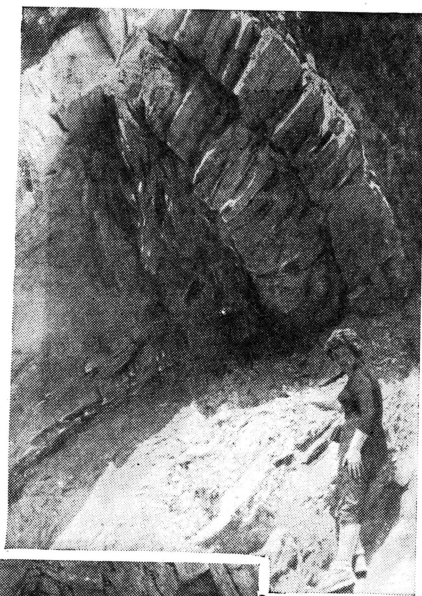
ной международной экспедиции в поселке Юргамыш выступил ее руководитель М. В. Гневышев. Деятельность экспедиций Уральского государственного университета и ряда отделений ВАГО осветили доцент З. Н. Шукстова (Свердловск) и ученый секретарь ЦС ВАГО кандидат физико-математических наук В. А. Бронштэн. Помимо многочисленных снимков, полученных участниками экспедиций, на заседании был показан фильм, снятый во время затмения по заданию ВАГО и Московского планетария оператором А. А. Миловидовым.

На заключительном заседании с докладами о деятельности двух отделений ВАГО выступили профессор К. А. Бархатова (Свердловск) и профессор Д. В. Пясковский (Киев). С большим вниманием был выслушан доклад профессора Р. В. Куницкого и кандидата педагогических наук Е. П. Левитана «О преподавании астрономии в школе». Этот доклад содержал подробный анализ основных недостатков в преподавании астрономии в средней школе и рекомендации по их устранению.

В резолюции, принятой после обсуждения всех докладов, пленум наметил меры по улучшению работы президиума Центрального совета и отделений ВАГО, разработал мероприятия по подготовке к празднованию 100-летия со дня рождения В. И. Ленина и к очередному V съезду Всесоюзного астрономо-геодезического общества в 1970 г.

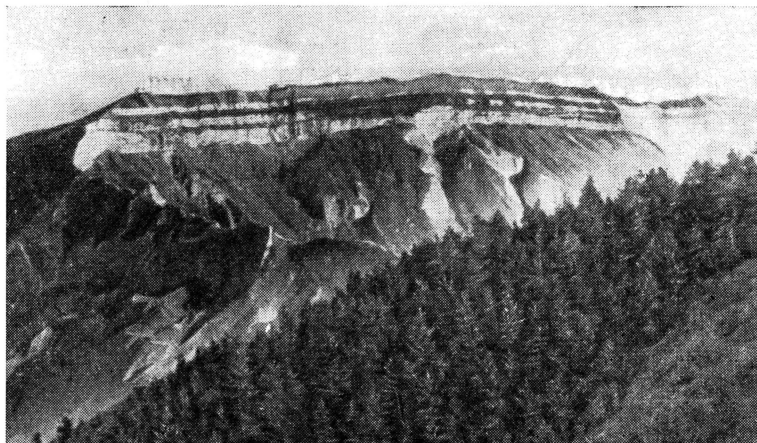
Участники выразили сердечную благодарность Свердловскому горкому КПСС, Горисполкому, ректорату Уральского государственного университета и Свердловскому отделению ВАГО за создание исключительно благоприятных условий для работы пленума. Несмотря на сильные морозы (-42° , -44°), гостеприимные свердловчане помогли полностью выполнить и экскурсионную программу пленума: посещение Коуровской обсерватории, Геологического музея Уральского горного института, а также знаменитого Уральского завода тяжелого машиностроения.

* См. статью А. А. Изотова «Феодосий Николаевич Красовский и развитие геодезии в нашей стране», «Земля и Вселенная», № 3, 1969 г.



▲
В ГРУЗИИ НА ЮЖНОМ СКЛОНЕ Главного Кавказского хребта можно видеть изгибы пластов, соизмеримые с ростом человека. Трещины рассекают более хрупкие слои и иногда придают всей складке мозаичный вид

▼
СТОЛОВЫЕ ГОРЫ ИЗВЕСТНЯКОВОГО Дагестана нередко образованы одной крупной складкой, коробчатой или сундучной формы, измеряемой в поперечнике километрами



МНОЖЕСТВО РАЗНООБРАЗНЫХ СКЛАДОВ



▲
НА ПАНОРАМЕ поперечного
отрога Главного Кавказского
хребта в Азербайджане видно,
что весь хребет сложен сери-
ей разных складок причудли-
вой формы

СКЛАДКИ ИЛИ ИЗГИБЫ ПЛАСТОВ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД — удивительная загадка природы. И как всякая неразгаданная тайна, она порождает массу разнообразных гипотез и самых различных, иногда фантастических предположений о том, как образовались эти изгибы. Глядя на складки, невольно думаешь, что они сложены очень пластичными, мягкими массами, похожими по своим свойствам на тесто. Почти в любой горной стране можно видеть смятые в складки огромные толщи пластов горных пород.

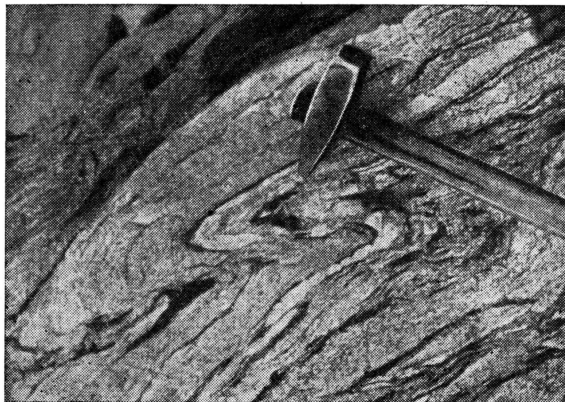
Разгадка тайны образования складок — одна из актуальных задач современной геотектоники. Силы, деформирующие горные породы и порождающие складки, «спрятаны» в глубоких частях земной коры и верхней мантии. Понять природу этих сил — значит яснее представить сущность сложных процессов, происходящих в глубоких недрах Земли.

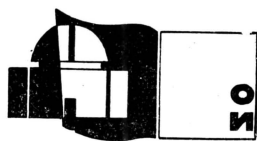
Об основных структурных элементах складок и строении складчатых областей, а также о некоторых гипотезах происхождения складчатости мы уже рассказывали в № 6 «Земли и Вселенной», 1968 г.

В. Н. Ш О Л П О
кандидат геолого-минералогических наук

Фото автора

В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ очень часто можно увидеть складки размером в несколько сантиметров (для масштаба здесь показан геологический молоток). Форма этих изгибов напоминает о сложном течении вязкой расплавленной массы



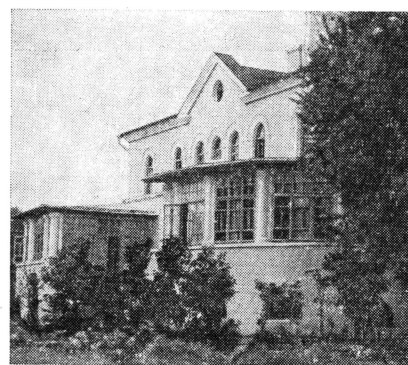


ОБСЕРВАТОРИИ
И ИНСТИТУТЫ

ИНСТИТУТ ГРАДА



Запуск аэростата в Терсколе



И ЛАВИН

Г. К. СУЛАКВЕЛИДЗЕ
профессор

В 1934 г. на склоны высочайшей горы Европы — Эльбруса вышли первые отряды советских физиков и физиологов, исследователей туманов и облаков, атмосферы и космических лучей. Процесс бурного роста, характерный для советской науки в целом, затронул и обсерватории на Эльбрусе, с годами экспедиция расширялась, и на ее основе был создан новый, единственный в своем роде, институт — Высокогорный геофизический.

ЭЛЬБРУС — ПРИРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Исполняется 140 лет с тех пор как академик Э. Ленц, присоединившись к экспедиции генерала Г. И. Эммануэля, впервые поднялся на Эльбрус по его северным склонам.

Теперь в верховьях Баксанского ущелья, у подножия величественного Эльбруса, на высоте 2100 м над уровнем моря, в сосновом бору расположились жилые и рабочие помещения обсерватории «Эльбрус» — основной высокогорной базы Эльбрусской комплексной экспедиции (ныне Высокогорный геофизический институт Главного управления Гидрометслужбы СССР).

Эльбрус — самая высокая гора на Кавказе (5633 м над уровнем моря) была одной из первых в мире и первой на Кавказе покорена человеком.

Из отчетов о первом восхождении на Эльбрус в 1829 г. известно, сколько героизма, энтузиазма, стремления к победе проявил кабардинец Х. Киллар, первым вступивший на вершину. Тогда и было положено начало исследовательским работам на Эльбрусе. Отчет академика Э. Ленца об этом восхождении изобилует описаниями геологических и гляциологических явлений, интерес к которым не утрачен до сих пор.

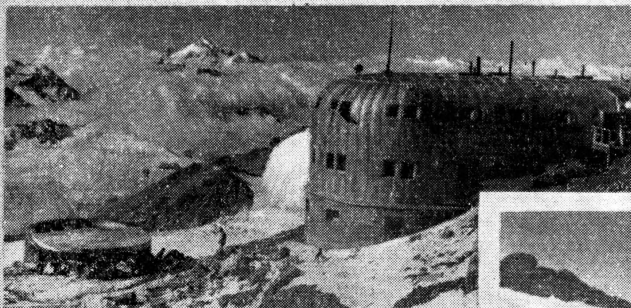
В XIX и начале XX вв. район Эльбруса неоднократно посещали многие ученые: А. В. Пастухов, Т. А. Абих, М. Н. Добровольский, И. В. Мушкетов. В 1890 г. выдающийся исследователь Кавказских гор топограф А. В. Пастухов вместе с сопровождавшим его отрядом совершил восхождение на Эльбрус. Они произвели триангуляционные измерения, определили географические координаты и высоту Эльбруса над уровнем моря. Побывал на склонах Эльбруса и Михаил Юрьевич Лермонтов. А в 1912 г. на восточную вершину поднимался Сергей Миронович Киров.

В 1924 г. на Эльбрус поднялся профессор Г. Н. Николадзе с группой сотрудников Тбилисского университета. Это было первое восхождение советских исследователей. Спу-

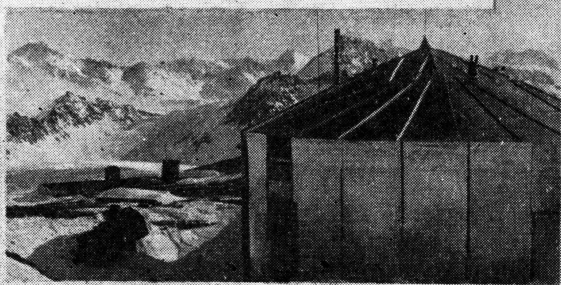
стя 10 лет на Эльбрусе была проведена массовая альпиниада, и на вершину поднялось около 800 спортсменов. В 1960 г. во время традиционной Кабардино-Балкарской альпиниады уже 1400 спортсменов достигли вершины Эльбруса, а в честь 50-летия Великой Октябрьской революции сюда поднялись 2000 спортсменов Кабардино-Балкарии. Сегодня Приэльбрусье стало центром горно-лыжного спорта и альпинизма. Канатные дороги поднимут вас в прекрасно оборудованные гостиницы и уютные вечерние кафе, расположенные на высотах от 2000 до 4000 м.

За годы Советской власти значительно расширилась научно-исследовательская деятельность. На Эльбрусе были организованы систематические исследования снега, ледников, облачности и других явлений. В 1930—1931 гг. на склонах Эльбруса открылась первая метеорологическая станция под руководством В. М. Корзуна. На ней вели наблюдения Н. А. Гусак и профессор А. М. Гусев. В 1934—1935 гг. на склонах Эльбруса начала работать Эльбрусская высокогорная комплексная экспедиция, организованная по инициативе академиков С. И. Вавилова, Г. М. Франка, А. А. Лебедева, А. Ф. Иоффе и других. Впервые в условиях высокогорья 50 участников экспедиции проводили физические и биологические исследования. Тогда же молодые ученые С. Ф. Родионов и И. А. Хвостиков впервые организовали оптические исследования атмосферы. Эти работы продолжаются и сегодня следующими поколениями исследователей. Выбор места работ был не случаен: район Эльбруса представляет собой прекрасную естественную лабораторию с большими перепадами высот, температуры, атмосферного давления. Здесь можно на разных высотах изучать атмосферное электричество, запыленность воздуха и многие другие явления, расположив на склонах Эльбруса и Главного Кавказского хребта, а также и на дне долины пункты наблюдений, оснащенные аппаратурой. Здесь не приходится ограничивать вес и габариты приборов. Все это создает неповторимые условия для изучения космических лучей, турбулентности атмосферы, исследований в области физики облаков, атмосферной оптики.

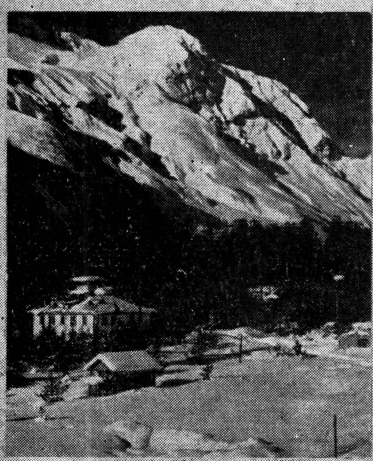
Научные результаты экспедиционных исследований, проведенных до 1941 г., оказались весьма интересными: стало известно общее содержание озона в атмосфере, а методика озонметрических наблюдений, разработанная Эльбрусской экспедицией, в дальнейшем нашла широкое применение. В 1963 г.



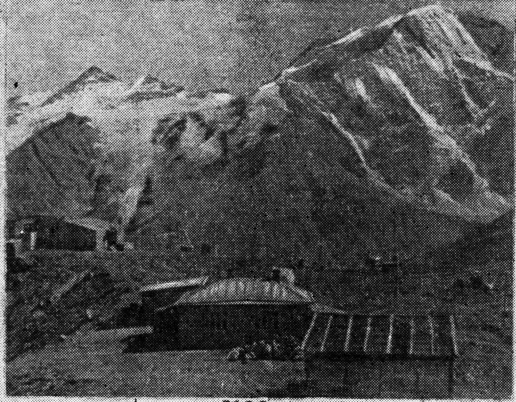
4200



3780



2100



3100

Покоренный Эльбрус: научная обсерватория «Эльбрус» (2100 м); высотная научная станция «Пик Терскола» (3100 м); высотная научная станция «Ледовая база» (3780 м); так перевозят оборудование и приборы с «Ледовой базы» в «Приют 11» (4200 м)

был открыт оптический эффект аномальной прозрачности атмосферы.

В высокогорных условиях для исследования космической радиации была с успехом применена камера Вильсона. Профессорам И. М. Франку, П. А. Черенкову (ныне — лауреаты Государственной премии СССР и Нобелевской премии) и Н. А. Добротину удалось установить зависимость между высотой над уровнем моря и числом ливней во второй компоненте космического излучения.

Основоположник актинометрических исследований в СССР, заслуженный деятель науки, профессор Н. Н. Калигин и А. Н. Гордов организовали первые наблюдения на Эльбрусе, позволившие определить степень сильной запыленности нижнего слоя атмосферы в Баксанском ущелье.

В первые годы экспедиция на Эльбрусе изучала короткие и ультракороткие радиоволны в условиях пересеченного высокогорного рельефа, разрабатывала оптические методы исследования атмосферы, широко применяющиеся ныне как в СССР, так и за рубежом.

Многие выводы о плотности верхних слоев атмосферы, сделанные в то время на основе регулярных оптических наблюдений, подтверждены другими исследователями совсем недавно, после обработки материалов, полученных со спутников и метеорологических ракет. Уже в 1935 г. было ясно, что район Эльбруса удобен для изучения целого ряда процессов в атмосфере, зависящих от ее плотности и температуры. К 1939—1940 гг. встал вопрос об организации на Эльбрусе постоянно действующей высокогорной физической станции. В это время на базе Эльбрусской экспедиции, кроме уже упомянутых ученых, вели работу такие видные исследователи, как В. И. Векслер, Е. С. Селезнева, Н. Н. Сиротинин, А. Х. Хргиан и другие.

Великая Отечественная война прервала научную деятельность Эльбрусской экспедиции. Многие научные работники Эльбрусской экспедиции и альпинисты встретились на склонах Эльбруса в 1942—1943 гг. уже в боевой обстановке. 23 февраля 1943 г. на вершинах Эльбруса вновь реял государственный флаг Советского Союза. В боях за Эльбрус

участвовали А. М. Гусев, Н. А. Гусак, Х. Ч. Залиханов, А. И. Сидоренко и другие. За боевые действия на Эльбрусе они награждены орденами и медалями.

В 1948 г. началось восстановление Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции. В 1948—1955 гг. академик Е. К. Федоров возглавлял исследования условий образования облаков и осадков, а также атмосферного электричества. Профессор С. Ф. Родионов руководил оптическими наблюдениями атмосферы, а автор этих строк — исследованием физических свойств снега.

В первые годы восстановления экспедиции не было постоянных баз и пунктов наблюдений, не хватало электроэнергии, а тяжелые бытовые условия, осложненные климатическими особенностями высокогорья, затрудняли научные исследования. До 1952 г. сотрудники Эльбрусской экспедиции наряду с научно-исследовательской деятельностью много сил и времени тратили на организацию высокогорных научных баз и лабораторий, на доставку научного оборудования, горючего, продуктов питания.

ЧЕМ ЗАНИМАЮТСЯ В ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ НА ВЫСОЧАЙШЕЙ ГОРЕ ЕВРОПЫ

На базе Эльбрусской экспедиции в 1961 г. был создан Высокогорный геофизический институт (ВГИ). Теперь ВГИ располагает хорошо оборудованными обсерваториями и геофизическими станциями на высотах от 500 до 4000 м над уровнем моря, лабораторным корпусом, а также механическими мастерскими.

На высоте 2100 м создана и полностью оборудована оптическая лаборатория, имеющая полигоны на пике Терскола (высота 3100 м) и Ледовой базе (высота 3780 м). На высотных станциях работают метеонаблюдатели, группы актинометристов и исследователей физических свойств снежных лавин и ледников. В плохую погоду наблюдателю порой даже просто передвигаться бывает и трудно и опасно. Неоднократно горноспасательные отряды выходили навстречу ученым, измотанным вьюгами и сложными переходами после очередных наблюдений на вершине и в седловине Эльбруса, на пике Чегет или в других районах Большого Кавказа. Зимой некоторые экспедиционные отряды на протяжении недель, а то и месяцев оказываются в изоляции, — с ними поддерживается только радиосвязь. А бывает и так, что даже на самую нижнюю из высокогорных станций — обсерваторию «Эльбрус» автотранспорт по 5—

6 дней не может прорваться сквозь лавинные завалы. Но все трудности, связанные с проведением полевых исследований, сгущаются уникальностью получаемых научных данных.

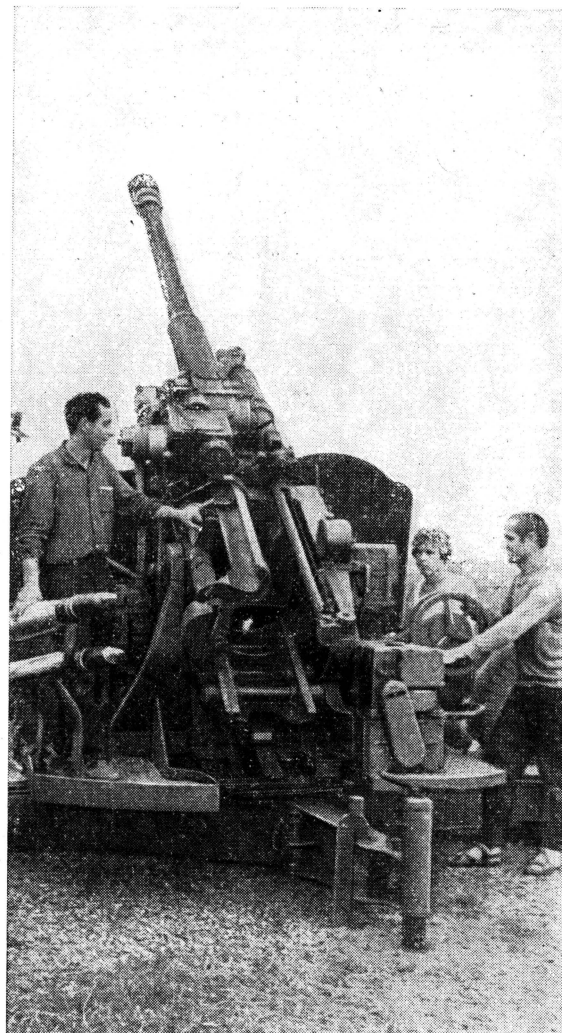
В числе основных работ института, широко известных в Советском Союзе и за его пределами, следует отметить в первую очередь исследования механизма образования ливневых осадков и разработку методов борьбы с градом, а также исследования в области физики снега.

Проблемы активного воздействия на погоду и, прежде всего, борьба с градом и проблема рассеяния туманов еще в начале XX в. привлекали внимание ученых и практиков. Делались попытки изучать облака с самолета. Однако самолет пронизывает облако слишком быстро, и поэтому невозможно проследить за непрерывным изменением параметров облака с высотой и во времени. Для исследования процесса облакообразования надо было проникнуть в облако и в течение длительного времени наблюдать за всеми изменениями, происходящими в нем с начала возникновения до распада или до выпадения осадков.

Решить эту задачу помог Эльбрус. Над глубокой долиной Азау, где расположена обсерватория «Эльбрус», часто развивается слоисто-кучевая и кучево-дождевая облачность. Станции наблюдений располагались на склонах Эльбруса и снежных вершинах Азау на разных высотах (через 100—200 м). В средней части долины Азау поднимали привязные аэростаты с аппаратурой, подвешенной к тросу через каждые 100 или 200 м. Это позволило исследовать как центр облака, так и его края. Измерительная аппаратура была установлена также на двух автомашинах. При этом одна из них находилась у верхней границы облака, а вторая — у нижней, и обе перемещались вверх и вниз в зависимости от изменения границ облака. Все это позволяло, «взяв облако в клещи», исследовать макро- и микрофизические параметры облака (влажность и размеры капель, температуру воздуха, направление ветра и другие явления).

МОЖНО ЛИ ПРЕДОТВРАТИТЬ ВЫПАДЕНИЕ ГРАДА?

В 1956 г. перед научным коллективом была поставлена задача — найти способ воздействия на мощные кучевые облака, чтобы предотвратить выпадение града или хотя бы уменьшить его размеры. Удалось установить, что в конвективном облаке скорости восходя-



Мирное орудие готово к бою с градонесущими облаками

щих потоков с высотой возрастают, достигая максимума в предвершинной части облака, после чего начинают убывать. Такое распределение скоростей приводит к образованию крупнокапельной зоны (зоны аккумуляции) в верхней части мощного кучевого облака. Крупнокапельную зону образуют возникающие на гигантских гигроскопических ядрах облачные капли, которые являются зародышами дождевых. Если верхняя граница этой зоны расположена на уровне изотерм от -18 до -20° , то отдельные крупные капли замерзают и растут за счет коагуляции с переохлажденными крупными каплями, что и приводит к росту градин. На основе такой модели разработан метод прогноза града. Проверка показала, что оправдываемость метода может

достигать 90%, поэтому сейчас он внедрен в народное хозяйство. Представления о процессе образования града в дальнейшем подтвердились в работах советских и зарубежных авторов.

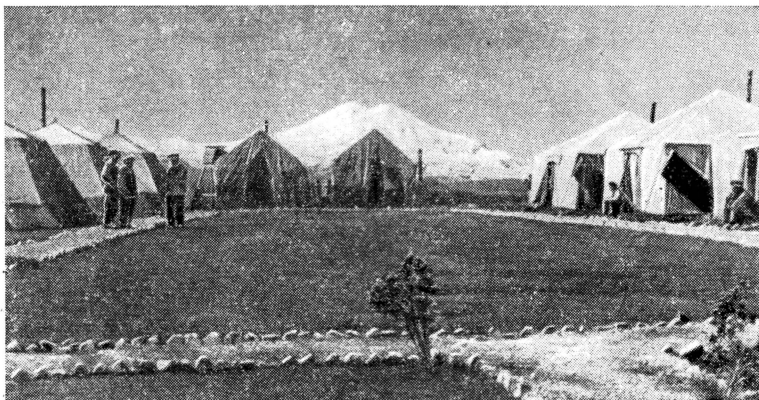
Если исходить из сложившихся представлений, что максимальное количество воды, аккумулирующейся в конвективном облаке, постоянно и ограничено максимальной скоростью восходящего потока, то, увеличив число зародышей градин, мы тем самым уменьшим конечный размер градин у Земли. Для успешного воздействия на градовые процессы необходимо, во-первых, распознать ту часть конвективного облака, где в данный момент происходит образование градин, во-вторых, искусственно создать в этой части облака дополнительные зародыши градин. Лабораторными и полевыми опытами было установлено, что кристаллизующие реагенты, внесен-

ные в переохлажденную часть облака, вызывают возникновение кристаллов льда на уровне изотерм от -6 до -12° . Но не было ясно, каким образом и как быстро из этих кристаллов льда возникают зародыши градин.

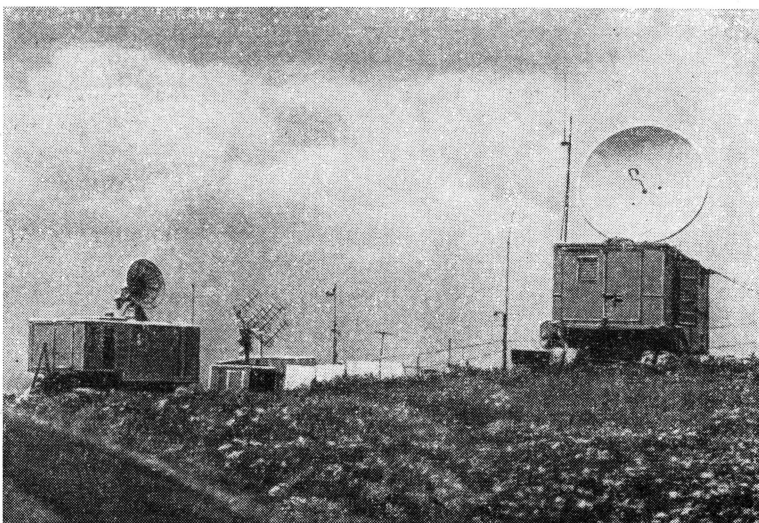
Дальнейшие опыты показали, что на 500—1000 мелких кристаллов льда, образующихся после внесения искусственных реагентов, приходится примерно одна крупная частица, служащая зародышем града. Было установлено, что для воздействия на облако в очаг зарождения града необходимо внести 30—50 г реагента на 1 км^3 пространства, занятого очагом, и делать это нужно очень быстро (за 1—3 минуты).

За 4—10 минут градина размером 1 мм успевает вырасти в зоне аккумуляции в 20—40 раз. Поэтому реагент нужно вносить в облако с помощью специальных безосколочных быстро движущихся снарядов (или ракет).

Противоградовая
1962 г. экспедиция



Отряд Кавказской комплексной
противоградовой экспедиции
(ККПЭ)



В 1961—1962 гг. научные сотрудники ВГИ, Центральной аэрологической обсерватории и Института геофизики АН ГрузССР разработали радиолокационный способ обнаружения градового очага, а также методику определения диаметра градин, зарождающихся в облаке. В течение нескольких лет (с 1961 по 1968 г.) было проведено свыше 200 определений диаметра града, при этом средняя погрешность метода оказалась равной 30%. Не было ни одного случая, когда радиолокационным способом не удалось бы установить образование града в облаке.

БОРЬБА С ГРАДОМ — ЭТО НАЧАЛО УПРАВЛЕНИЯ ПОГОДОЙ

В 1961 г. в ВГИ был разработан новый метод воздействия на градовые процессы и подготовлено все необходимое для его практического осуществления. Воздействие на градовые процессы проводилось в течение двух лет на площади в 30 тыс. га. Был выбран наиболее градоопасный район Кабардино-Балкарии, где по данным гидрометеорологических станций в среднем за год бывает 13 дней с градом. За два года опытного воздействия на градоопасные облака (1961—1962 гг.) выпадение града на охраняемой территории не наблюдалось. Такой же результат был получен при охране 60 тыс. га в 1963 г., что позволило приступить к защите сельскохозяйственных культур в более крупных масштабах (на площади до 0,5 млн. га).

Начиная с 1964 г. активные воздействия на градовые облака проводились Кавказской противоградовой экспедицией под руководством Высокогорного геофизического института. В работах участвовали сотрудники Закавказского научно-исследовательского гидрометеорологического института и управлений гидрометеослужбы Азербайджанской ССР, Армянской ССР и Северного Кавказа. С 1967 г. исследования охватили площадь около 2 млн. га.

В результате воздействия на облака за период, когда обычно выпадает град (с мая по сентябрь), на охраняемой территории пострадавшие площади оказались в 5—6 раз меньшими по сравнению с участками, где защита не проводилась. Расчеты показали, что разработанный ВГИ метод защиты сельскохозяйственных культур (особенно винограда) эффективен и рентабелен. Лишь в 1967 г. противоградовые работы ВГИ позволили сэкономить государству около 18 млн. рублей при затрате на эти работы 1,5 млн. рублей.

Таким образом, исследования механизма образования ливневых осадков и града завершились разработкой метода воздействия на градовые процессы. Этот метод изучается в Югославии, Венгрии, Канаде и Швейцарии. Работы по внедрению метода борьбы с градом в народное хозяйство ведутся параллельно со скрупулезными научными исследованиями кучевых облаков, процессов коагуляции, кристаллизации и термодинамики облаков.

СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ — ГРОЗНОЕ БЕДСТВИЕ В ГОРАХ

Многое сделано в лабораториях на Эльбурсе для изучения физических свойств снежного покрова и лавинных процессов.

Снежные лавины не только причиняют материальный ущерб, но иногда уносят человеческие жизни. Так, в XIX в. большая группа персидских дипломатов, следовавших в Петербург по делу о вероломном убийстве А. С. Грибоедова, погибла под снежной лавиной у Крестового перевала. Построенную здесь противолавинную галерею назвали Персидской.

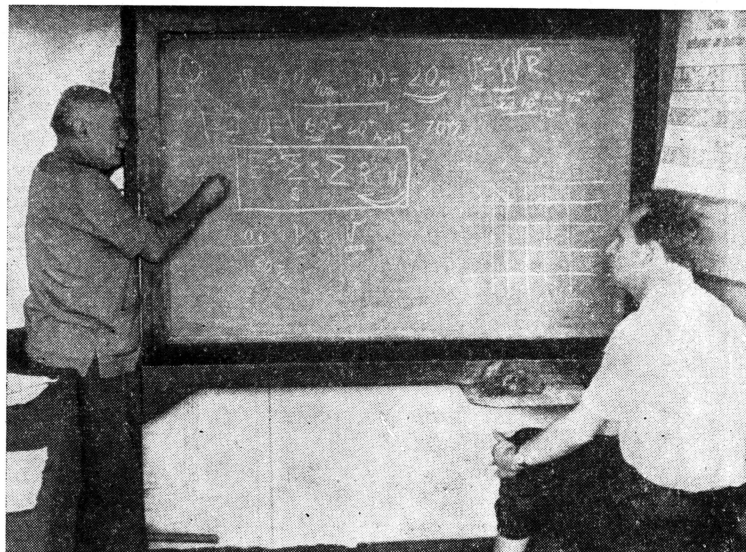
Лавина — это грозное и в то же время величественное явление. Белое безмолвие сверкающих снежных вершин внезапно нарушается грохотом, гулом срывающейся снежной массы, окруженной облаком серебристой пыли высотой нередко до 500—800 м. Лавинный снег несется вниз по горному склону со скоростью 30—40 м/сек. Врываясь в лесную зону, он валит деревья, увлекает их за собой, скручивает или ломает стволы, разбивая их в мелкие щепы. Ударившись о дно долины, лавина вздымается огромным клубящимся облаком снежной пыли.

Воздушная волна, порожденная лавиной, способна с корнями вырвать деревья на соседних склонах, куда не доходит лавина, бросить их на землю, образуя на склоне веерообразную прогалину.

Перед исследователями была поставлена задача выяснить условия образования лавин и найти способ прогнозирования лавинноопасных мест и времени рождения лавины, а также рассчитать возможную силу удара движущейся снежной массы о препятствие.

Снежный покров имеет существенное значение в хозяйственной деятельности человека. В Советском Союзе и зарубежных странах физические свойства снежного покрова в горах изучены недостаточно. В 1924 г. в СССР начались исследования снега с целью выяснения условий срыва снежных лавин. Полученные данные и в настоящее время не потеряли

В научном центре ККПЭ. Польский ученый доктор К. Хамман знакомится с физическими основами советского метода борьбы с градом



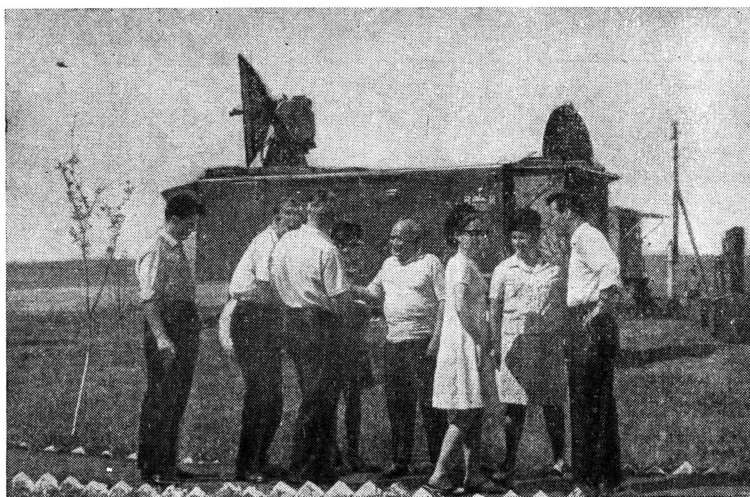
своей ценности, они используются во многих работах, не устарела и методика этих исследований, проведенных А. Г. Гофом, Г. Ф. Оттенем и Н. М. Гвинчидзе.

Эльбрусская экспедиция на протяжении многих лет проводила подробное исследование физических свойств снежного покрова. Оказалось, что, изучая только механические свойства снега, нельзя определить время наступления лавинноопасного периода. Поэтому поставлены опыты для изучения тепловых свойств снежного покрова и выяснения механизма теплообмена в толще снега. Изучается влияние структуры снежного покрова на тепловые свойства снега. На основании геоморфологических и геоботанических наблюде-

ний была предложена методика прогнозирования места срыва снежной лавины. Десятилетняя практика использования этой методики в горах Кавказа блестяще подтвердила ее правильность и оказала большую помощь строителям. Сооружения в местах, выбранных согласно прогнозу, и по сей день не подвергались лавинной опасности.

Нередко приходится оберегать существующие сооружения от возможного удара снежной лавины или строить новые в нелавинноопасных местах. Для безопасности возводят противолавинные стены, галереи и другие средства защиты от лавин с учетом прогноза силы удара и времени отрыва снежных лавин. Зная угол наклона и максимальную высоту

Канадские ученые в Лабинске



снежного покрова на склоне, можно по уравнению рассчитать максимальную силу удара лавины в любой ее точке. Первая попытка обосновать расчет противолавинных сооружений, опираясь на анализ материалов Эльбрусской экспедиции, проведенная В. С. Читадзе, получила высокую оценку строителей Закавказья. В 1964—1966 гг. составлен кадастр лавин СССР, уточнены некоторые вопросы о механических свойствах снега.

ИНСТИТУТ НА ЭЛЬБРУСЕ — КРУПНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

С работами ВГИ ознакомились шестнадцать делегаций зарубежных ученых. В институте проходят подготовку и получают консультации в области физики облаков и снежного покрова научные сотрудники и аспиранты Москвы, Ленинграда, Тбилиси, Еревана, Душанбе, Праги, Варшавы, Гаваны, Будапешта, Загреба и других городов. За последние годы научные сотрудники ВГИ выступили с четырнадцатью докладами на девяти международных конференциях в Советском Союзе и за рубежом. С 1962 по 1968 г. в ВГИ были подготовлены к печати одиннадцать сборников и четыре монографии по вопросам физики облаков и снега. Работы сотрудников ВГИ переведены и изданы на 8 иностранных языках. Многие из этих работ дискутируются в зарубежной печати, а три монографии по физике облаков переведены на английский язык (1966—1968 гг.). Одновременно с проведением научно-исследовательских работ в ВГИ большое внимание уделяется подготовке высококвалифицированных научных кадров. За последние 6 лет в ВГИ подготовлено и защищено 30 диссертационных работ.

На базе ВГИ ведут исследовательскую

работу многие научно-исследовательские учреждения Советского Союза. В течение всего времени работы экспедиции ВГИ на Эльбрусе ведет исследования группа атмосферной оптики Ленинградского государственного университета имени А. А. Жданова. Вопросами физики атмосферы и микрофизики облаков занимаются также сотрудники Ленинградского университета. На базе ВГИ много лет работает группа физиологов Академии наук УССР. В работах ВГИ деятельное участие принимают сотрудники географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Под руководством профессора Г. К. Тушинского создана прекрасная научно-исследовательская база МГУ в долине Азау под Эльбрусом. В 1949—1957 гг. экспедиция Академии наук ГрузССР проводила исследования космических лучей под руководством профессора Э. Л. Андроникашвили. С 1957 г. эти работы продолжает кафедра экспериментальной физики Кабардино-Балкарского государственного университета. Совместно с ВГИ в научных исследованиях приняли участие: Институт физики атмосферы АН СССР, Институт физики Земли АН СССР, Государственный оптический институт имени С. И. Вавилова, Главная геофизическая обсерватория имени А. И. Воейкова, Центральная аэрологическая обсерватория, Институт прикладной геофизики, Институт водных проблем АН АрмССР, Институт физики и Институт геофизики АН ГрузССР, Управление гидрометеослужбы АрмССР, Закавказский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ленинградский гидрометеорологический институт и другие.

Ученые Высокогорного геофизического института продолжают нести свою научную вахту на склонах седого Эльбруса.

МЕЧ-РЫБА АТАКУЕТ БАТИСКАФ

Работа батискафов на больших океанских глубинах всегда сопряжена с опасностями. Сложно посадить батискаф в районе скалистого дна, но не менее опасен и мягкий, обволакивающий придонный осадок. Исследователям угрожают также суспензионные потоки и внезапно возникающие оползни. Ко всему этому добавляется еще одна опасность — это нападения обитателей глубин.

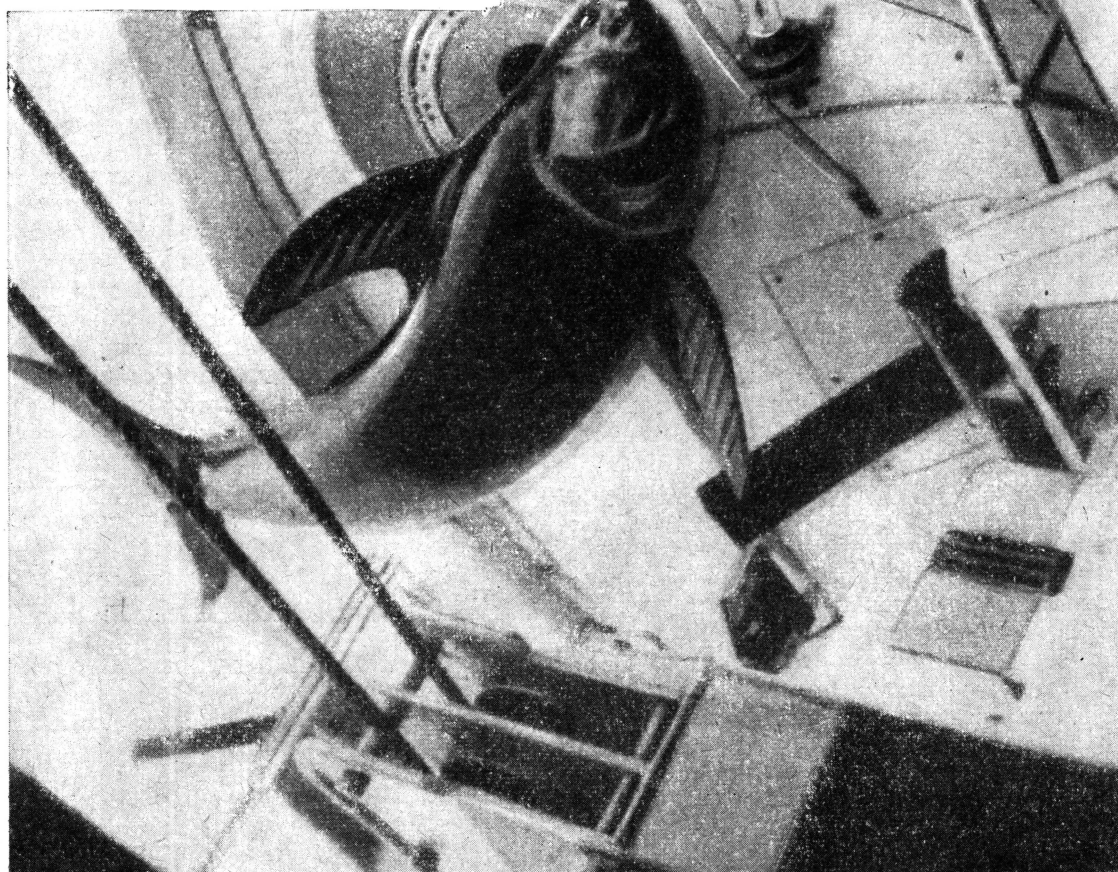
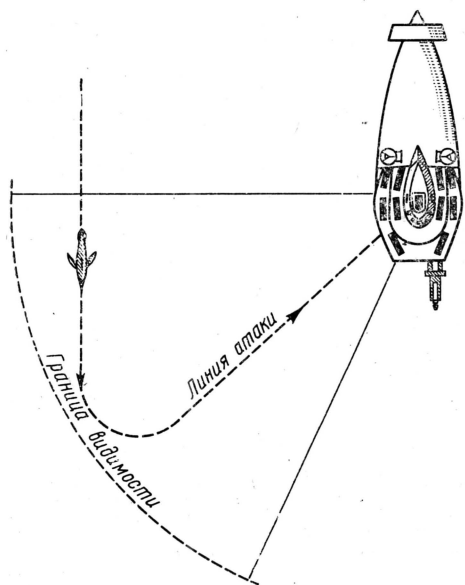
6 июля 1967 г. американский батискаф «Элвин» с тремя исследователями на борту опустился в Атлантическом океане, в райо-

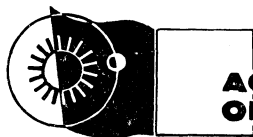
не плато Блейк, на глубину 619 м для выполнения геологических работ. Как только корабль начал медленно продвигаться вдоль дна, снаружи раздался легкий удар о корпус: на корабль напала меч-рыба. Удар пришелся точно под иллюминатор правого борта. Меч на всю длину (75 см) вошел в щель между корпусом и внешней обшивкой и плотно заклинился. В иллюминатор было видно, как неистово пытается рыба освободиться из плена. Чтобы предотвратить течь в одном из внешних отсеков, батискаф всплыл. На поверхности рыба начала биться, обломив меч, оставив его торчащим в щели. Меч

оказался всего на 12,5 мм правее электрического кабеля. Рыба была длиной 2,45 м и весила 89 кг!

Ранее предполагали, что меч-рыба обитает лишь в приповерхностных водах. Сообщения о нападениях меч-рыбы на обычные суда появлялись довольно часто со времен Плиния. В наши дни многие рыбаки из предосторожности покрывают днища своих лодок металлическими пластинами. И лишь недавно стало известно, что меч-рыба проникает на большие глубины. Так, батискаф «Дипстар» встретил ее на глубинах 450 и 630 м.

«Oceanus», XIII, 4, 1967.





Подготовка астрономов в системе университетского образования

Н. П. ГРУШИНСКИЙ

*профессор, председатель Совета по подготовке
астрономических кадров при Астросовете
АН СССР*

Астрономия всегда была наукой практического значения: на первых порах как средство ориентирования на местности, в дальнейшем — кораблевождения, решения картографических задач. Сейчас в «космической лаборатории» астрофизики изучают вещество в условиях, необычных для земных лабораторий. На наших глазах наблюдательная и теоретическая наука, какой всегда была астрономия, превращается в науку экспериментальную. Она использует уже не только методы физико-математические, но и методы, применяемые в геофизике, геологии и биологии.

Велика роль астрономии и в формировании правильного материалистического мировоззрения и в повышении культуры народа.

При подготовке специалистов необходимо учитывать перспективы развития науки. Сейчас нужны специалисты-астрономы трех направлений: во-первых, астрономы «классического» профиля, т. е. специалисты по астрофизике, звездной астрономии, астрометрии, небесной механике и гравиметрии; во-вторых, ученые и инженеры-астрономы для работы в области космических исследований, в том числе исследований Луны и планет солнечной системы, исследований, использующих искусственные космические тела для решения геодезических задач, и, в-третьих, преподаватели и высококвалифицированные популяризаторы астрономии.

В настоящее время благополучно обстоит дело лишь с подготовкой специалистов-астро-

номов — научных работников классического профиля.

В университетах Москвы, Ленинграда, Казани и Свердловска на отделениях и кафедрах ежегодно обучаются от 10 до 30 студентов-астрономов. Каждый год несколько специалистов выпускают кафедры астрономии Киевского, Одесского, Ереванского, Вильнюсского, Рижского и Тартуского университетов. В некоторых университетах, например Львовском, Ужгородском, Ростовском, нет кафедр астрономии, но есть астрономические обсерватории или станции наблюдения искусственных спутников Земли. Эти университеты, правда нерегулярно, выпускают по несколько специалистов-астрономов. Всего

ЧИСЛО ВЫПУСКНИКОВ УНИВЕРСИТЕТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ АСТРОНОМИЯ

Города	Годы					
	1963	1964	1965	1966	1967	1968
Москва	13	21	28	18	23	30
Ленинград	12	19	10	22	26	24
Казань	12	13	12	12	9	10
Ереван	0	3	0	3	0	6
Одесса	5	6	6	0	0	4
Киев	7	5	0	9	0	6
Харьков	10	10	5	5	4	7
Тбилиси	14	11	6	3	4	7
Всего	73	88	67	72	66	94

ЧИСЛО ВЫПУСКНИКОВ УНИВЕРСИТЕТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ АСТРОГЕОДЕЗИЯ

Города	Годы					
	1973	1964	1965	1966	1967	1968
Свердловск					11	20
Томск					13	22
Владивосток					19	21
Всего					43	63

университеты страны ежегодно выпускают 100—140 специалистов по астрономии. Этим в основном обеспечивается текущий спрос астрономических учреждений на молодых научных работников.

Трудно проследить какие-либо закономерности по шести годам, однако, если внимательно просмотреть таблицы, можно заметить тенденцию некоторого увеличения выпуска астрономов Московским и Ленинградским университетами и некоторого сокращения всеми другими (не считая специальности астрогеодезия).

Но специалисты-астрономы требуются не только астрономическим институтам. Организациям и предприятиям, ведущим исследования космоса, нужны астрономы, умеющие рассчитывать движение космических кораблей, нужны астрофизики, которые могут поставить и решить задачи исследования космоса, применяя не только астрономические, но и геофизические методы.

Большую роль в народном хозяйстве начинает играть использование спутников в геодезических работах, в проблеме изучения гравитационного поля Земли, в исследованиях физики атмосферы. По мере внедрения новых методов должно увеличиваться и количество специалистов данного профиля, занятых в этих областях. Эти специализации массовые. Однако таких специалистов университеты нашей страны пока не готовят. И не случайно учреждения, занимающиеся исследованием космического пространства, часто предпочитают выпускнику-астроному специалиста иного профиля, считая, что основные астрономические знания будут им приобретены в процессе работы.

В декабре 1967 г. на пленуме Совета по подготовке астрономических кадров обсуждался вопрос об организации в университетах новых астрономических специализаций —

таких, как радиоастрономия, физика космического пространства, планетофизика, астродинамика, космическая геодезия.

Все эти специализации должны базироваться на углубленных знаниях физики, математики и астрономии. Кроме того, на последних курсах студенты, специализирующиеся по планетофизике, должны освоить геологические и геофизические методы, а будущие специалисты по астродинамике — получить инженерные знания из области движения космических аппаратов. С начала космической эры открылась возможность непосредственного изучения Луны, а в недалеком будущем — и планет солнечной системы. Очевидно, что такое изучение будет вестись геофизическими методами в первую очередь. Астрономия сближается с геофизикой. Методы изучения физики Земли начали распространяться и на близкие объекты астрономических исследований — планеты.

Из анализа учебных планов астрономических отделений физических и математических факультетов университетов следует заключение о практической невозможности выработать на базе этих факультетов удовлетворительный учебный план, обеспечивающий подготовку всех астрономических специальностей. По существующим на физических факультетах учебным планам на физику и математику отведено около 2200 часов, на специальные астрономические дисциплины приблизительно 1300 часов, на общие неспециальные — около 1400 часов. На первых трех курсах у студента-астронома на обязательные занятия уходит 36 часов в неделю. Специализация начинается с IV курса. Очевидно, что при организации новых специализаций нельзя увеличивать число часов. В то же время нельзя, изменив только программу, подготовить хорошего специалиста в те 1300 часов, которые отводятся на астрономические дисциплины. Придется, видимо, затрагивать и «фундамент подготовки» — основные физико-математические дисциплины. Если на физических факультетах можно подготовить астрофизика, радиоастронома и специалиста по физике космического пространства, то для специализации в области небесной механики, астродинамики и космической геодезии нужна коренная перестройка учебного плана факультета. Необходимо усилить подготовку по математике, уменьшить число часов, отводимых на физику, исключить некоторые и ввести взамен другие, общие или специальные, предметы. Когда астрономов выпускают математические факультеты (например, Ленинградский государственный университет),

наоборот, ощущается избыток сугубо специальных математических и недостаток физических дисциплин, особенно необходимых для астрофизиков.

Изменить учебные планы астрономических отделений физических и математических факультетов так, чтобы они удовлетворяли всем требованиям новых специализаций, невозможно. Все это приводит к выводу о необходимости организации в одном-двух крупнейших университетах страны факультетов астрономии и космических исследований с отделениями астрофизики и физики космического пространства, небесной механики и космической геодезии, геофизики и физики планет. Для университетов, не имеющих астрономических отделений и выпускающих небольшое число специалистов-астрономов, нужна узкая специализация. Выбор ее обуславливается характером факультета, где обучаются астрономы, и направлением, возможностями, традициями работающего на этом факультете коллектива астрономов. Практически так и делается.

Университеты нашей страны не готовят педагогов и популяризаторов астрономии. Между тем в педагогических институтах требуются высококвалифицированные преподаватели астрономии, которые могли бы обеспечить необходимую подготовку учителей для средних школ. Во всех педагогических институтах (а их только в РСФСР более 100!) лишь 25% преподавателей астрономии имеют астрономическое образование (университетское — единицы) и только около 20 преподавателей имеют степень кандидата наук. Но университеты не направляют своих выпускников в педагогические институты. Опытные, эрудированные астрономы-популяризаторы и руководители астрономических кружков нужны планетариям, народным обсерваториям, Дворцам пионеров. Во всех планетариях, кроме московского, практически нет специалистов-астрономов, а в школах их единицы. И это в век освоения космоса, в век, когда проблемы астрофизики и космологии приобретают фундаментальное значение для физики!

Очень трудно на базе столичных университетов и университетов крупнейших городов обеспечить всю страну специалистами-астрономами. Поэтому необходимо всемерно раз-

вивать астрономические специализации в периферийных университетах и ориентировать их выпускников не только на научную, но и на преподавательскую деятельность. В решении этой задачи большую роль играют университетские астрономические обсерватории — центры научно-исследовательской работы по астрономии.

Любопытно заметить, что число астрономов-специалистов, выпускаемых нашими университетами, за последние 5 лет практически не изменилось. В то время как в США число выпускаемых астрономов удваивается через каждые 4 года: в 1957 г. — 168 выпускников-астрономов, в 1960 г. — 284, в 1963 г. — 524.

Парадоксально, что в космический век появляется совершенно непонятная тенденция свертывания астрономического образования. И это в то время, когда, по мнению крупнейших физиков, в науке о неживой природе существуют только две фундаментальные проблемы: физика элементарных частиц и космология. Недавно, например, возник вопрос о прекращении подготовки астрономов в университетах Украины. Сворачивание астрономического образования наблюдается и в педагогических институтах. Еще 5 лет назад астрономические специальности существовали в шести педагогических институтах страны, а сейчас — лишь в одном. В новом учебном плане средней школы на преподавание астрономии выделяется по-прежнему мизерное число часов — 39 (!). Все это — тревожные сигналы. Они свидетельствуют о том, что кроме улучшения подготовки астрономов в университетах необходимо незамедлительно добиться улучшения подготовки преподавателей астрономии в педагогических институтах, а также значительного расширения и углубления курса астрономии в средней школе.

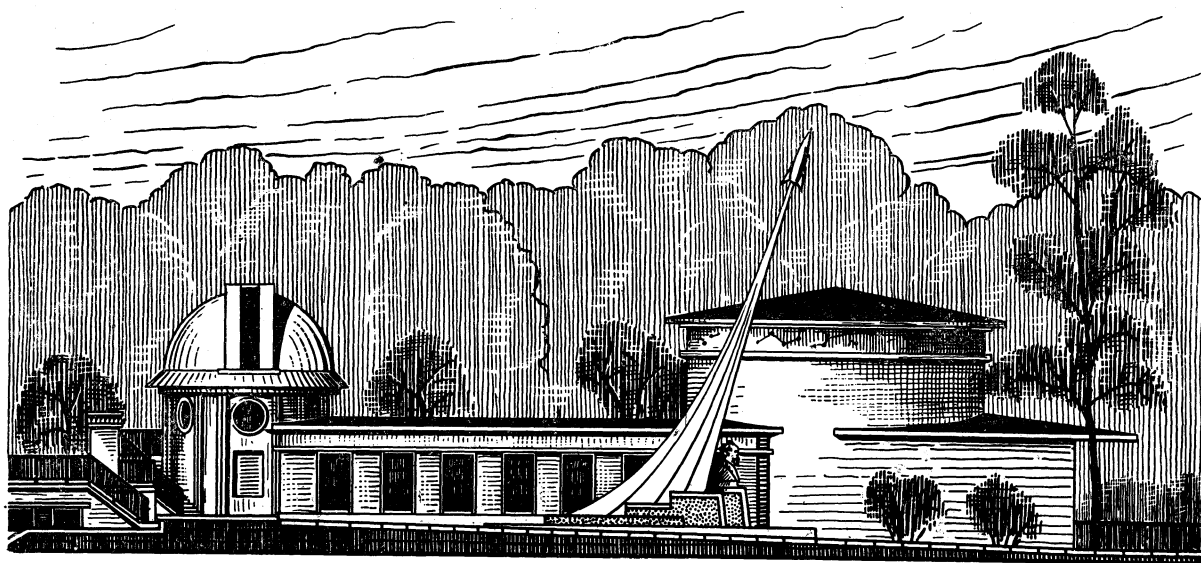
Мы должны готовить специалистов-астрономов тех направлений, которые действительно сейчас нужны. Для этого необходимо, сообразно требованиям времени, перестроить систему подготовки астрономов в университетах. Такую перестройку надо начинать сейчас в рамках астрономических отделений и кафедр, а завершить — в рамках факультетов астрономии и космических исследований.



**НАРОДНЫЕ
ОБСЕРВАТОРИИ
И ПЛАНЕТАРИИ**

С 1966 г. в Уфе работает обсерватория «Юность». Это пока единственная в Башкирской АССР учебная обсерватория. Один из ее организаторов — автор публикуемой ниже статьи. За активную работу по созданию обсерватории Центральный совет Всесоюзного астрономо-геодезического общества наградил Г. Д. Туева «Почетной грамотой».

Уфимская учебная обсерватория «Юность»



Каждый новый эксперимент в исследовании Вселенной увеличивает интерес людей, и особенно учащейся молодежи, к астрономической науке.

Учителя Уфы и прежде хорошо понимали воспитательное значение астрономии. Но после 4 октября 1957 г., когда первый в мире советский искусственный спутник Земли возвестил о начале космической эры, все пошло по-новому и в школьной астрономии. Многие преподаватели астрономии вступили в Башкирское отделение Всесоюзного астрономо-геодезического общества, а при уфимском Дворце пионеров и школьников была создана юношеская астрономическая секция ВАГО.

В первые годы организации астрономической работы, пока не было учебной обсерватории, приборов и инструментов, мы посылали на стажировку лучших кружковцев в Астрономическую обсерваторию имени П. В. Энгельгардта (под Казанью) и в Крымскую астрофизическую обсерваторию. Крымская областная юношеская астрономическая обсерватория в Симферополе помогла нам освоить технику наблюдения метеорных потоков.

Учащиеся, прошедшие стажировку в обсерваториях, оставались нашими помощниками в организации кружковой работы, в проведении всех массовых мероприятий.

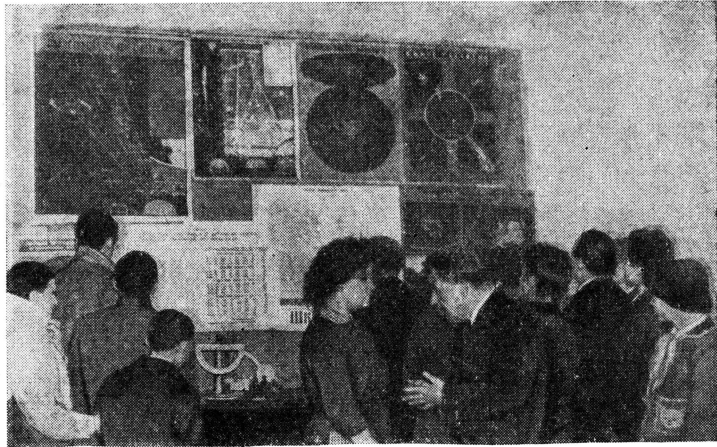
С 1959/60 учебного года мы стали регулярно проводить астрономо-географические олимпиады учащихся и учителей. Всего было проведено девять таких олимпиад. В каждой из них участвовало от 1000 до 1500 учащихся и от 100 до 200 учителей школ города. Каждый раз из состава учителей физики и географии создавался Совет по подготовке и проведению олимпиады, который утверждался Горно. Совет разрабатывал вопросы по астрономии и географии для школьников 6—10 классов. Итоги проведения каждой олимпиады подводились на общегородском астрономическом празднике учителей и школьников, где Совет давал оценку работы каждой школы и присуждал победителям **вымпелы**.

Олимпиады привлекли внимание общественности. Башкирский обком ВЛКСМ с одобрения ЦК ВЛКСМ взял на себя инициативу организации строительства учебной астрономической обсерватории с использованием средств государственных и общественных организаций. И вот уже в 1966 г. учащиеся школ и студенты города получили в свое распоряжение учебную обсерваторию «Юность».

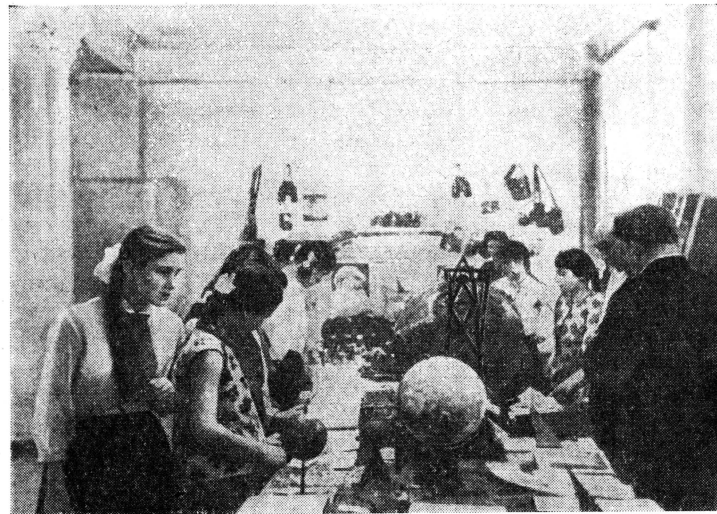
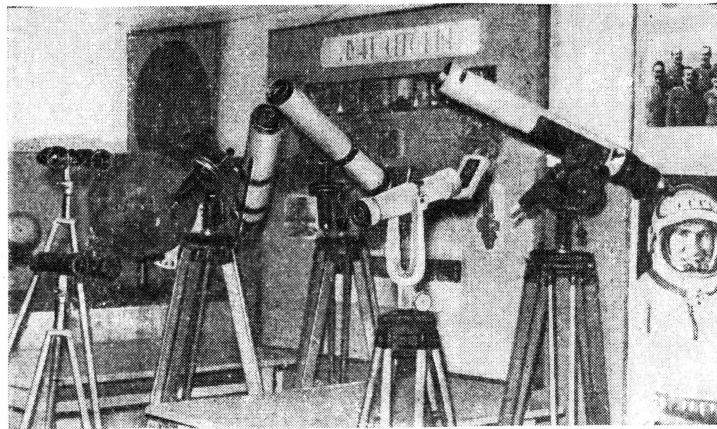
Обсерватория представляет собой комплекс сооружений, взаимно дополняющих друг друга. Как в каждой обсерватории, здесь есть башня с вращающимся куполом, в которой установлен телескоп АЗТ-9 с приспособлениями для визуальных и фотографических наблюдений небесных тел, а также четыре выносных телескопа-рефрактора и десяток биноклей. В башне работают наши лучшие кружковцы, овладевшие техникой наблюдения и хорошо знающие небо. Построен планетарий на 100 мест, оборудованный аппаратом УП-4 со вспомогательными проекторами, двумя киноустановками и радиоузлом. Здесь члены ВАГО читают лекции по астрономии, космонавтике и физике Земли, а учителя школ проводят тематические уроки. В планетарии имеется более 50 цветных диапозитивов на разные темы, сотни плакатов и диаграмм, изготовленных преимущественно учащимися. Имеется радиоастрономический павильон с аппаратурой и фотолабораторией. В 1967 г. обсерватория получила две радиолокационные станции. Пока эти станции не приспособлены для радиолокации небесных объектов и служат лишь для постановки экспериментов и практических занятий по радиотехнике и электронике.

Сейчас завершаются строительные работы еще одного павильона площадью 144 м², в котором разместятся лаборатории и учебный зал на 100 мест. Плоские крыши радиоастрономического и достраивающегося павильонов можно использовать как астрономические площадки для изучения звездного неба с помощью выносных инструментов. Продолжается оборудование обсерватории новыми приборами и инструментами. Мы хотим приобрести более мощный стационарный телескоп и создать загородный постоянно действующий филиал обсерватории. Мечтаем использовать имеющиеся радиолокационные станции для радиоастрономических наблюдений небесных объектов, но для этого необходима помощь радиоастрономов.

Когда все намеченное нами будет выполнено, юные астрономы получат новые возможности для дальнейшего развертывания работы. Учебная обсерватория оказала заметное влияние на развитие внеклассных занятий в школах Уфы, где регулярно работают астрономические кружки, проводят тематические вечера и экскурсии в нашу обсерваторию. В 1968 г. более 10 000 учащихся не только городских, но и районных школ республики посетили планетарий. В том же учебном году в обсерватории было



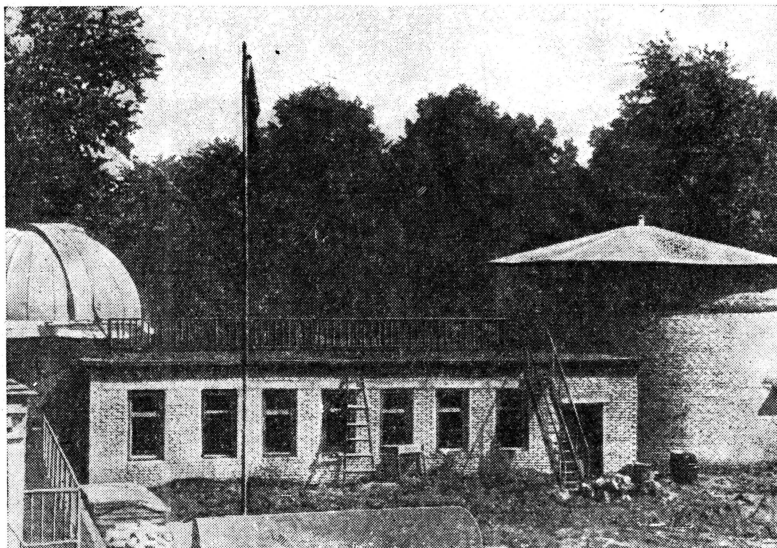
*ЕЖЕГОДНО В ОБСЕРВАТОРИИ
«Юность» организуются выставки
творческих работ учащихся.*



прочитано 204 лекции для учащихся, учителей и директоров школ. Общественность города часто организует коллективные посещения обсерватории и планетария. Для

рабочих фабрик и заводов мы устраиваем специальные сеансы.

Около 20 старших школьников хорошо знают небо и часто читают в школах и на



ОБСЕРВАТОРИЯ РАСШИРЯЕТСЯ. В этом павильоне скоро откроется учебный зал, а на крыше павильона будет наблюдательная площадка

предприятиях города лекции по астрономии. За время работы обсерватории многие наши кружковцы поступили на астрономические отделения университетов. Сейчас в них учатся 16 наших кружковцев, которые не теряют связь с обсерваторией и во время каникул помогают нам.

В обсерватории часто проводятся вечера на астрономические темы: «Наука и религия о Вселенной», «Жизнь во Вселенной», «Новое о происхождении Земли и небесных тел», «50 лет развития советской астрономической науки» и др. Кроме того, мы ежегодно организуем вечера, посвященные Дню космонавтики, юбилейным датам выдающихся астрономов, наиболее значительным событиям в исследовании Вселенной.

Три года подряд в августе обсерватория организует загородные научные экспедиции по наблюдению метеорных потоков. Правда, первые наблюдения оказались неудачными: не было опыта и необходимого оборудования. В 1968 г. в экспедиции участвовало 16 юных астрономов. Они провели визуальные наблюдения более 300 метеоров и около 70 метеоров наблюдали в телескоп. Все материалы наблюдений они полностью обработали сами.

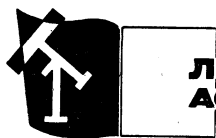
В 1967/68 учебном году в обсерватории «Юность» работали четыре кружка по геофи-

зике, астрофизике и космонавтике и две группы по изучению средств радиолокации. В каждой группе было по 30 учащихся девятых и десятых классов. Из них 54 человека получили дипломы операторов или операторов-механиков радиолокационных систем и в настоящее время работают по этой специальности.

В обсерватории собрана научная библиотека, насчитывающая более тысячи книг, и периодически выпускается «Бюллетень новостей астрофизических и геофизических наук». Жизнь коллектива юных астрономов освещается в ежемесячной стенгазете «Космос».

Каждый наш кружковец должен, кроме освоения теоретических знаний и практики наблюдений за небесными явлениями и телами, изготовить в учебном году один прибор или наглядное пособие. В конце учебного года, когда проводится астрономический праздник, мы подводим итоги олимпиады и организуем выставки творческих работ учащихся. На выставку приглашаются учителя, родители учащихся и представители общественности. Совет обсерватории оценивает работу каждого члена кружка. За лучшие работы учащиеся получают «Почетные грамоты» Обкома, Горкома ВЛКСМ и Башкирского отделения ВАГО, а также памятные подарки.

Г. Д. ТУЕВ



Любителям астрономии — о телескопах. VI*

Н. Н. МИХЕЛЬСОН

кандидат физико-математических наук

МЕХАНИКА ТЕЛЕСКОПА

Современный крупный телескоп представляет собой сложное инженерное сооружение. Недостаточно иметь только хорошую оптику. Необходимо еще и точная механика, которая позволила бы сохранять неизменным правильное взаимное расположение отдельных оптических элементов телескопа (например, объектива и окуляра) и наводить телескоп на нужную точку неба. Для этого служат труба телескопа и монтировка (штатив), поддерживающая трубу.

ТРУБА ТЕЛЕСКОПА

Труба должна быть весьма жесткой, иначе изображение будет смещаться и портиться.

Обычно у рефракторов трубы сплошные. На одном конце трубы, в оправе, крепится объектив. Линзы в оправе не должны смещаться, но в то же время они не должны деформироваться слишком сильным сжатием.

Многие крупные рефлекторы имеют сплошную нижнюю часть трубы, где установлено

главное зеркало, и легкую каркасную верхнюю часть, несущую механизм главного фокуса и сменные вторичные выпуклые зеркала для оптических схем Кассегрена и кудэ. Механизм главного фокуса состоит из двух труб, которые входят одна в другую. Наружная труба неподвижна, внутренняя может продольно перемещаться, благодаря чему изображение фокусируется. Верхний конец внутренней трубы кончается фланцем, на котором устанавливаются светоприемники, кассета, электрофотометр, небольшой спектрограф и вспомогательная контрольная оптика. Неподвижная наружная труба механизма главного фокуса и сменные зеркала крепятся к трубе телескопа с помощью четырех растяжек. В главном фокусе больших телескопов иногда укрепляют кабину, где может находиться наблюдатель.

Во всех крупных рефлекторах, в том числе и в 2,6-метровом рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории, применяются трубы конструкции М. Серрюрье. Первым телескопом с таким типом трубы был 5-метровый рефлектор обсерватории Маунт Паломар. В трубе

Серрюрье нижнее и верхнее кольца соединены со средней частью фермами, образующими жесткие треугольники.

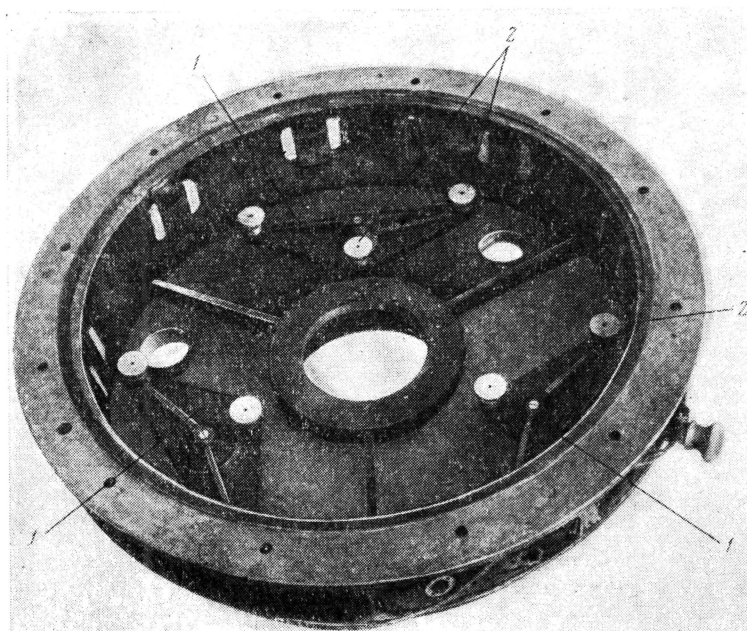
Камеры Шмидта и менисковые телескопы обычно имеют сплошные закрытые трубы.

ОПРАВА ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА

Особое внимание необходимо уделять креплению главного зеркала. Оправа его по форме напоминает глубокую тарелку. Однако зеркало нельзя просто положить на дно оправы, так как из-за неизбежной неровности дна зеркало обязательно ляжет лишь отдельными случайными точками, а в промежутках между ними будет провисать. Изображение будет искажаться.

Из геометрии известно, что положение плоскости в пространстве определяется тремя точками. Но только очень небольшое зеркало в промежутках между тремя равноотстоящими точками не будет прогибаться. Чтобы не прогибалось большое зеркало, приходится применять сложные устройства, называемые разгрузкой. В телескопах умеренных размеров приме-

* Продолжение. Начало см. «Земля и Вселенная», № 4, 5, 6, 1968 г.; № 1, 1969 г.



ОПРАВА ЗЕРКАЛА 700-миллиметрового телескопа с системой разгрузки Гребба. На дне оправы укреплены качающиеся треугольники (1) с опорными площадками (2), на которые ложится зеркало

няют разгрузку типа Гребба, в больших — Ласселя.

В системе Гребба на дне оправы есть три регулируемых опорных выступа. На каждом из них укреплены качающиеся треугольники, в вершинах которых установлены опорные площадки. Именно на эти площадки и ложится зеркало. Таким образом, зеркало равномерно подпирается в девяти точках. Положение зеркала в системе Гребба определяется опорными выступами в оправе.

В системе разгрузки Ласселя зеркало подпирается множеством рычагов, шарнирно закрепленных в оправе. Свободные концы рычагов уравновешены грузом. Три таких механизма фиксируются (они-то и определяют положение зеркала), остальные равномерно подпирают зеркало. Эта система требует тщательной регулировки, но позволяет разгрузить зерка-

ло на любое число опор («точек»). Так, в 2,6-метровом телескопе — 21 опора, в 5-метровом — 36, а в строящемся 6-метровом их будет 60.

Аналогичные системы применяют и для боковой разгрузки зеркала, чтобы оно не смещалось в оправе при наклонах трубы.

МОНТИРОВКА ТРУБЫ

Небольшие любительские телескопы устанавливают на простенький альт-азимутальный штатив, в котором одна ось вертикальная, другая — горизонтальная. Поворачивая трубу вокруг горизонтальной оси, мы сможем наблюдать звезды, расположенные на

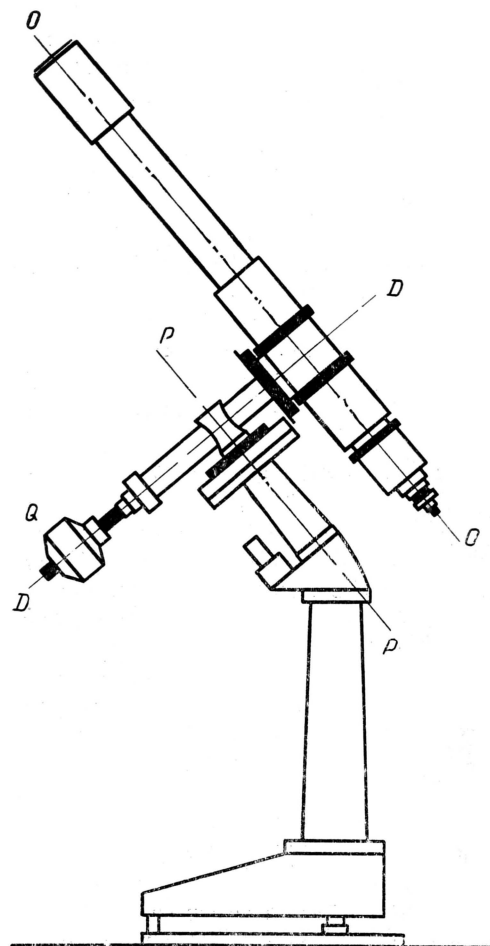


СХЕМА ПАРАЛЛАКТИЧЕСКОЙ МОНТИРОВКИ немецкого типа. На этом и следующих рисунках: PP — полярная ось; DD — ось склонений; OO — оптическая ось телескопа; Q — противовес

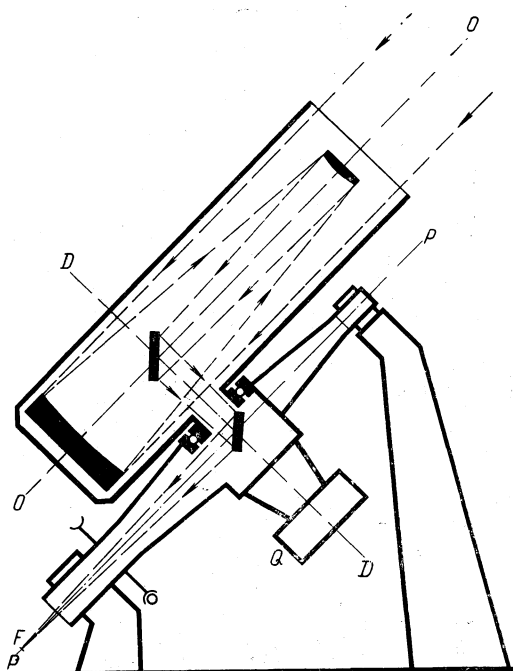


СХЕМА АНГЛИЙСКОЙ МОНТИРОВКИ. Два плоских зеркала направляют лучи света в фокус куда F

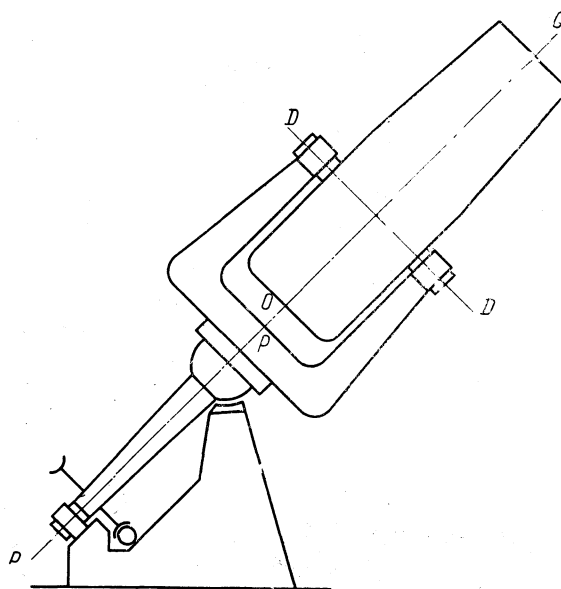


СХЕМА МОНТИРОВКИ ТЕЛЕСКОПА НА ВИЛКЕ

разных высотах над горизонтом, а вертикальная ось обеспечивает вращение трубы вправо и влево.

Большинство крупных и некоторые любительские телескопы устанавливают на монтировке, в которой одна ось лежит в плоскости меридиана и направлена на полюс мира. Эта ось называется полярной. На полярной оси укрепляются червячная шестерня и отсчетный лимб. Через эту шестерню часовой механизм вращает полярную ось, а вместе с нею и телескоп. Таким образом телескоп следит за суточным вращением неба, оставаясь направленным на избранную звезду. С полярной осью скреплена ось склонений, на которой установлен телескоп. Такие монтировки называются экваториальными или параллактическими.

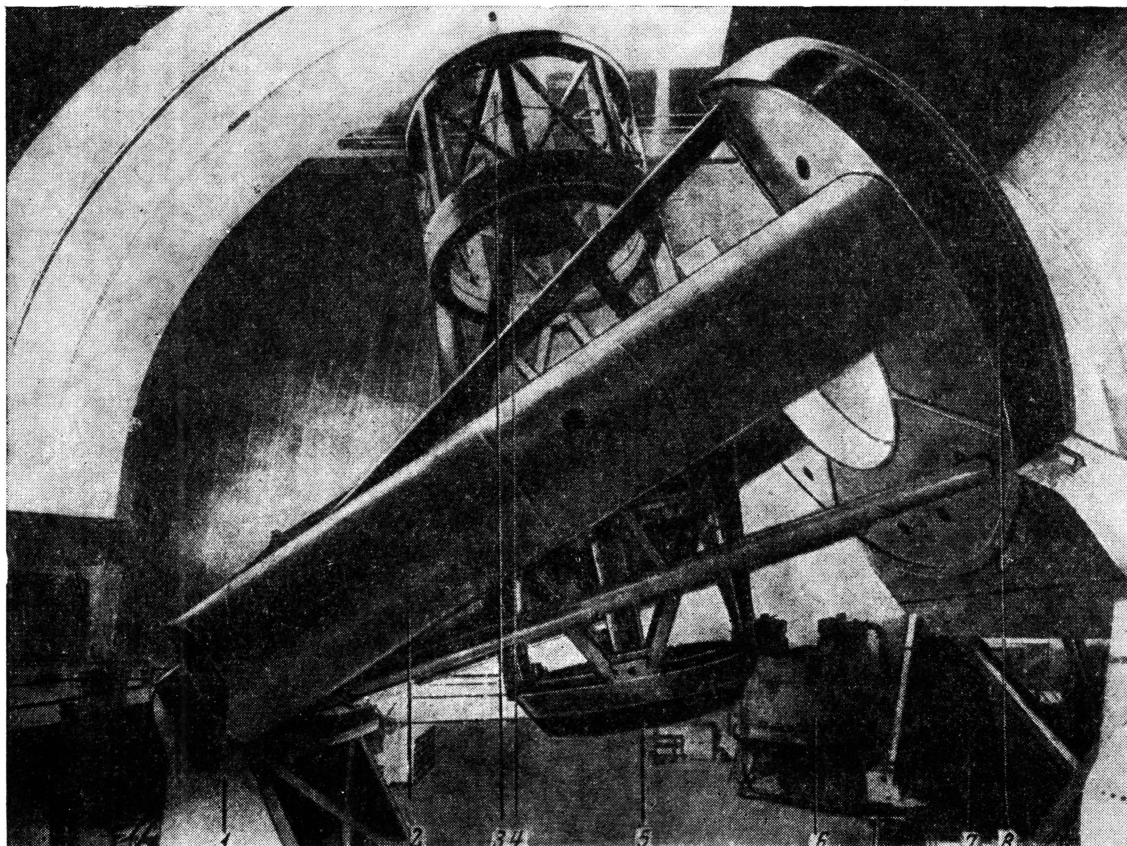
Существует несколько разновидностей экваториальных монтировок, отличающихся одна от другой конструктивным выполнением. Выбор типа монтировки не произволен, он диктуется размерами, конструкцией, назначением телескопа.

Рефракторы и небольшие рефлекторы чаще всего имеют так называемую немецкую монтировку. На массивной колонне укрепляется в подшипниках полярная ось, на верхнем конце которой находится корпус, несущий ось склонений. К концам оси склонений прикреплены телескоп и противовес.

В английской монтировке для увеличения жесткости конструкции полярная ось опирается на две колонны, а подшипник оси склонений (обычно один, но очень большой) укреплен на середине

полярной оси. На концах оси склонений установлены телескоп и противовес. Такая монтировка применяется главным образом для больших рефлекторов. На телескопе с английской монтировкой особенно удобно проводить наблюдения в фокусе куда, так как нужны всего два плоских зеркала, из которых одно отражает лучи в полярную ось склонений, а другое направляет их вдоль полой полярной оси.

Широко распространен тип монтировки на вилке (иногда его называют американской монтировкой). Верхний конец полярной оси несет вилку, на концах которой укреплены подшипники оси склонений. Телескоп заключен между концами вилки. Эта монтировка очень компактна и не требует противовеса.



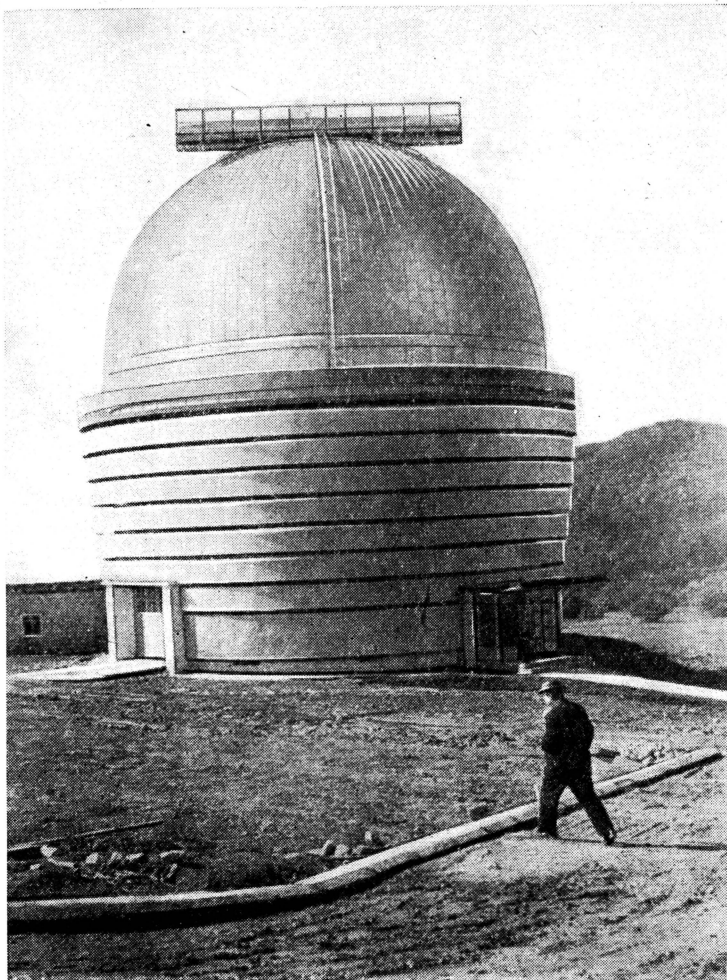
5-МЕТРОВЫЙ РЕФЛЕКТОР обсерватории Маунт Паломар (США) на монтировке типа ярма с «подковой»: 1 — южная опора монтировки; 2 — восточная половина «ярма»; 3 — кабина главного фокуса; 4 — фермы трубы, выполненной по схеме Серрюрье; 5 — оправа главного зеркала; 6 — вакуумная установка для алюминирования главного зеркала телескопа; 7 — северная опора монтировки; 8 — «подкова»

Промежуточным — типом между английской и вилочной монтировками является монтировка в ярме. Она имеет две опоры — северную и южную, поддерживающие полярную ось, которая выполнена в виде ярма или рамы. В середине ее, на оси склонений, поворачивается телескоп. Этот тип монтировки обладает весьма существенным недостатком: довольно обширная близполюсная зона недоступна телескопу, поскольку ее закрывает северный подшипник полярной оси.

Чтобы избавиться от этого недостатка, в 5-метровом рефлекторе обсерватории Маунт Паломар северный конец полярной оси был сделан в виде подковы диаметром 14 м. Подкова свободно скользит по двум опорам. Легкость вращения полярной оси обеспечивается тончайшей пленкой масла, накачиваемой под давлением в зазор между опорами и подковой. Такая же система применена и в южном подшипнике полярной оси. Благодаря этому весь телескоп как бы плавает на пленке масла.

Строящийся в СССР 6-метровый телескоп столь велик, что ни один из перечисленных типов параллактических монтировок для него не подходит. Поэтому телескоп установлен на альт-азимутальной монтировке, применявшейся до сих пор лишь для маленьких любительских телескопов и крупных радиотелескопов. Мощная вертикальная ось несет вилку, концы которой поддерживают трубу телескопа. Подшипники обеих осей гидравлические: в узкие зазоры трущихся частей насосами нагнетается масло, по-

*БАШНЯ И КУПОЛ 2-метрового
рефлектора Шемахинской астро-
физической обсерватории (Азербай-
джанская ССР)*



этому и вертикальная ось, и труба телескопа вращаются почти без трения.

Для защиты от вредных воздействий атмосферы те-

лескоп помещают в специальном, обычно круглом, здании (башне) с полусферическим вращающимся куполом. У купола есть щель,

которая закрывается створками (или «забралом»). Сооружение купола для большого инструмента является очень сложной задачей.

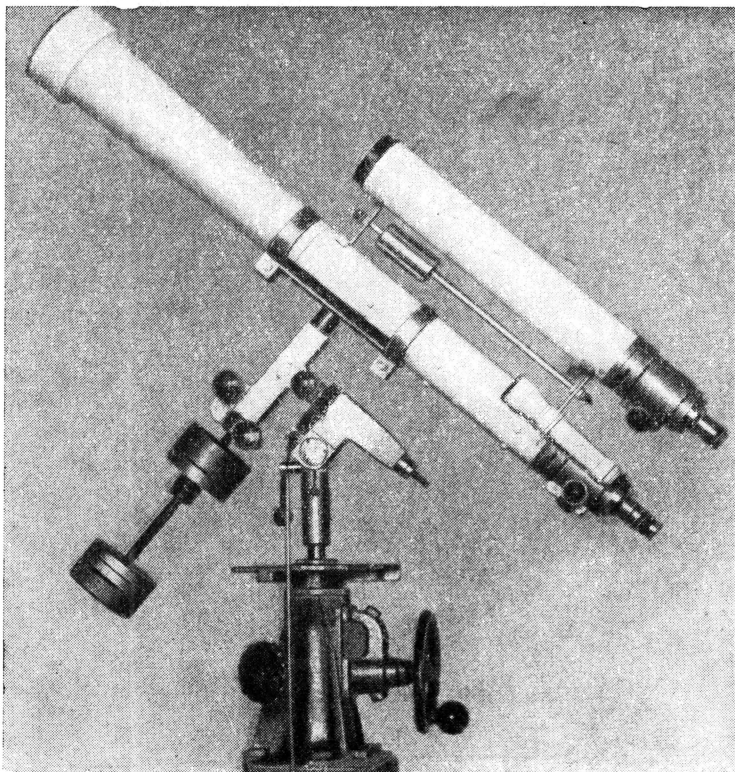
Телескоп-рефрактор из готовых деталей

Еще в школе, полюбив астрономию, я мечтал увидеть небо хотя бы в небольшой телескоп. Прошло много лет, прежде чем у меня появилась такая возможность. Вместе с В. Е. Янчуком мы собрали из готовых деталей 100-миллиметровый рефрак-

тор. Правда, приобрести эти детали оказалось не так просто. Часть из них мне удалось достать при содействии Приморского филиала Географического общества СССР (я — член этого общества) на складах Отдела фондового имущества Тихоокеанско-

го флота, распродающего устаревшие приборы и отдельные их узлы различным организациям. Некоторые детали я приобрел на Загорском заводе школьного приборостроения.

Главная труба телескопа длиной 1 м сделана В. Е. Ян-



Этот 100-миллиметровый телескоп-рефрактор собран из готовых деталей любителями астрономии А. Г. Чукаревым и В. Е. Янчуком — жителями Владивостока

Фото Г. Димова

чуком из дюралевого сплава. Ее двухлинзовый объектив диаметром 100 мм принадлежал когда-то старинной морской трубе. С окулярами, фокусное расстояние которых от 40 до 7 мм, труба дает увеличение в 25, 40, 50, 66, 75, 100 и 143 раза. Разрешающая способность ее объектива при увеличении в 100 раз около 1,5—1,75 секунды дуги.

Вспомогательная труба — это 60-миллиметровый телескоп-рефрактор Загорского завода школьного приборостроения. Разрешающая способность рефрактора при 60-кратном увеличении примерно 2,5—3 секунды дуги. Фо-

кусное расстояние двухлинзового объектива 600 мм. Набор окуляров позволяет получать увеличение в 15, 30, 45, 60 и 85 раз. Если к окулярному концу главной трубы прикрепить малоформатную фотографическую камеру, то вспомогательную трубу можно использовать для гидирования.

Искателем телескопа служит труба корабельного секстана с диаметром объектива 30 мм и полем зрения 8°.

Телескоп смонтирован на экваториальной установке немецкого типа (изготавливает ее Загорский завод школьного приборостроения) и укреплен на стальной колонне.

Раньше на этой колонне помещался корабельный бинокляр. Высота колонны регулируется специальным устройством, с помощью которого труба телескопа может подниматься вверх, позволяя наблюдать светила, близкие к зениту, без плоского зеркала. Лишь при наблюдениях звезд и планет в зените, а также чтобы спроецировать изображение Солнца на экран, приходится использовать плоское зеркало. Вес телескопа с противовесами и колонной немного больше 60 кг.

В декабре 1966 г. в этот телескоп я наблюдал редкое явление — исчезновение кольца Сатурна. При достаточном раскрытии кольца Сатурна, а также щель Кассини хорошо видны. Щель, отделяющая кольца от самой планеты, наблюдается четко и резко в любой из двух объективов телескопа. Мне удалось наблюдать и два спутника Сатурна: Титан и Рею.

На диске Юпитера в телескоп хорошо различимы экваториальные полосы. Незабываемое впечатление оставляют четыре галилеевых спутника Юпитера, медленно меняющие свое положение относительно планеты. Однажды я заметил темную точку над южным краем Юпитера. Это была, очевидно, тень спутника на диске планеты.

Венера при 143-кратном увеличении видна очень хорошо. Края ее серпика плотные, четкие, диск планеты совсем не струится.

В телескоп можно наблюдать скопление Плеяды, скопление в созвездии Персея, туманность Ориона, галактику в созвездии Андромеды и т. д. Телескоп хорошо разрешает двойные звезды α Скорпиона, β Ориона, α Близнецов, δ Лебедя и другие.

А. Г. ЧУКАРЕВ

Метеоры в сентябре—октябре

Осенью уже не увидишь таких звездопадов, как в конце лета. В ясные безлунные ночи можно наблюдать лишь слабые потоки, которые дают обычно всего 10—15 метеоров в час.

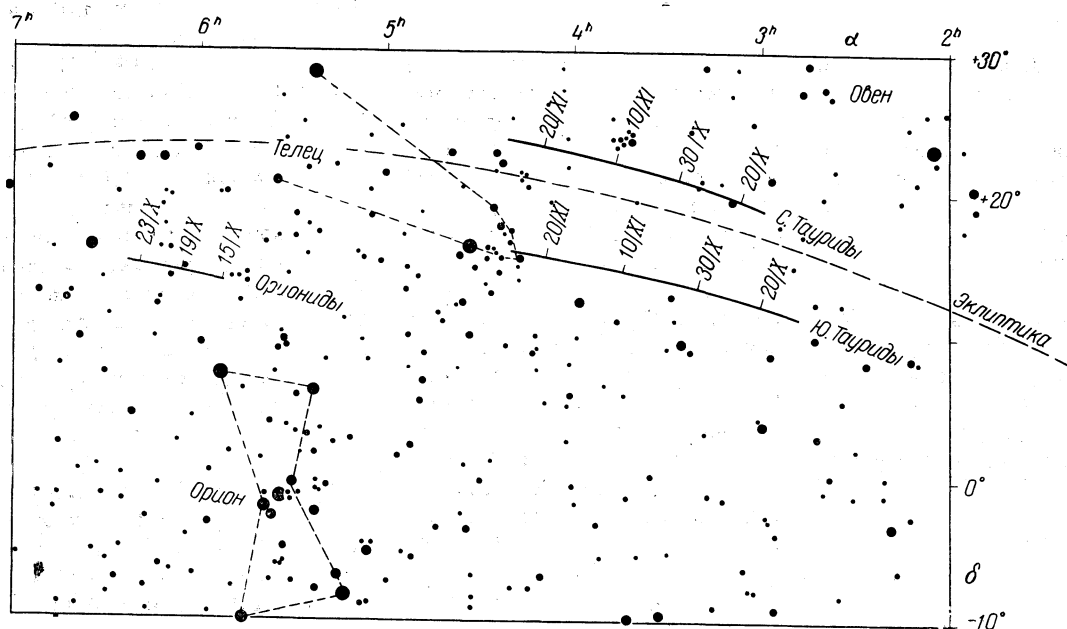
С середины и до конца октября действует один из самых красивых потоков северного неба — Ориониды. Его метеоры яркие, белые, часто с очень стойкими следами. С метеорным роем, порождающим этот поток, мы уже знакомы — в мае мы его наблюдали как η -Аквариды. Но в октябре частицы роя движутся к Земле иначе. Их радиант расположен на этот раз в созвездии Ориона. Земля в это время пересекает еще более далекую от кометы и более разреженную часть роя, чем в мае. Но поскольку радиант Орионид поднимается высоко над горизонтом, они кажутся обильнее майских Акварид. На минимальном от кометной орбиты расстоянии (24 млн. км) Земля бывает примерно 21 октября. Тогда же наблюдается максимум численности метеоров.

С середины октября и до конца ноября действует активный поток — Тауриды.

Максимум его приходится на 30 октября. Тауриды интересны тем, что имеют два радианта, расположенных в созвездии Тельца на значительном расстоянии друг от друга. Один из радиантов находится севернее эклиптики, другой — южнее. Орбиты их метеоров, однако, удивительно похожи друг на друга, и потоки называют Северными и Южными Тауридами, подчеркивая их единство.

Тауриды существуют несколько тысяч лет. Северный поток более диффузный и, по-видимому, более старый. Родоначальница роя — комета Энке. Она проходит на расстоянии менее 1 а. е. от орбиты Юпитера, и потому комета подвержена сильным возмущениям. Южные Тауриды наблюдаются в восходящем узле орбиты, Северные — в нисходящем. Вероятно, есть много других не наблюдаемых с Земли орбит с разными значениями долготы узла, обязанных своими различиями Юпитеру.

Активность Таурид значительно меняется год от года. Они дают много болидов. Перигелий роя находится вблизи орбиты Венеры, афелий — внутри орбиты Юпитера. В райо-



ПЕРЕМЕЩЕНИЕ РАДИАНТОВ Орионид, Северных и Южных Таурид среди звезд

не Земли ширина роя достигает почти 0,2 а. е., а наклонение орбиты роя невелико, 13°. Поэтому метеоры, связанные с этим роём, могут наблюдаться и во второй точке сближения орбит роя и Земли, т. е. летом, в конце июня — начале июля. В это время метеорные тела подлетают к Земле со стороны Солнца и дают дневной радиант, доступный лишь радиолокационным наблюдениям. Однако, есть сообщения о ярких дневных болидах, наблюдавшихся как раз в это время и, по-видимому, принадлежащих рою Таурид.

Многие потоки, действующие в сентябре — октябре, крайне нерегулярны. В отдельные годы они хорошо заметны, в другие — их не удастся наблюдать вовсе. Таковы σ -Аква-риды с радиантом $\alpha = 22^{\text{ч}}32^{\text{м}}$, $\delta = -12^\circ$ в созвездии Водолея. Они давно известны по визуальным наблюдениям как слабый поток. Но 3 сентября 1959 г. радиолокационные наблюдения показали неожиданно резкий максимум численности этих метеоров.

20 октября 1935 г. наблюдался очень активный (около 100 метеоров в час) радиант Цетид в созвездии Кита: $\alpha = 2^{\text{ч}}40^{\text{м}}$, $\delta = -5^\circ$.

Еще более интенсивны были Дракониды в 1933 и 1946 гг. В эти годы Земля проходила на очень малых расстояниях (меньше 1 млн. км) от кометы Джакобини — Циннера, и многие любовались тогда обильными звездными дождями: сотни метеоров в минуту пересекали звездное небо. Радиант метеоров располагался в созвездии Дракона: $\alpha = 17^{\text{ч}}28^{\text{м}}$, $\delta = +54^\circ$. Рой Драконид молодой. Он занимает небольшой участок орбиты вблизи кометы. В последние годы не наблюдалось ни дождей, ни даже хоть сколько-нибудь заметного потока. Это случилось потому, что планетные возмущения изменили орбиту роя, и метеорные тела уже не пересекают орбиту Земли.

А. Н. СИМОНЕНКО
кандидат физико-математических наук

СОЗВЕЗДИЯ МАЛОЙ МЕДВЕДИЦЫ И ДРАКОНА

Созвездия Малой Медведицы и Дракона относятся к околополярным, и для наблюдателей в средних широтах северного полушария они — незаходящие. Созвездие Малой Медведицы занимает на небе 265, а созвездие Дракона — 1083 квадратных градуса.

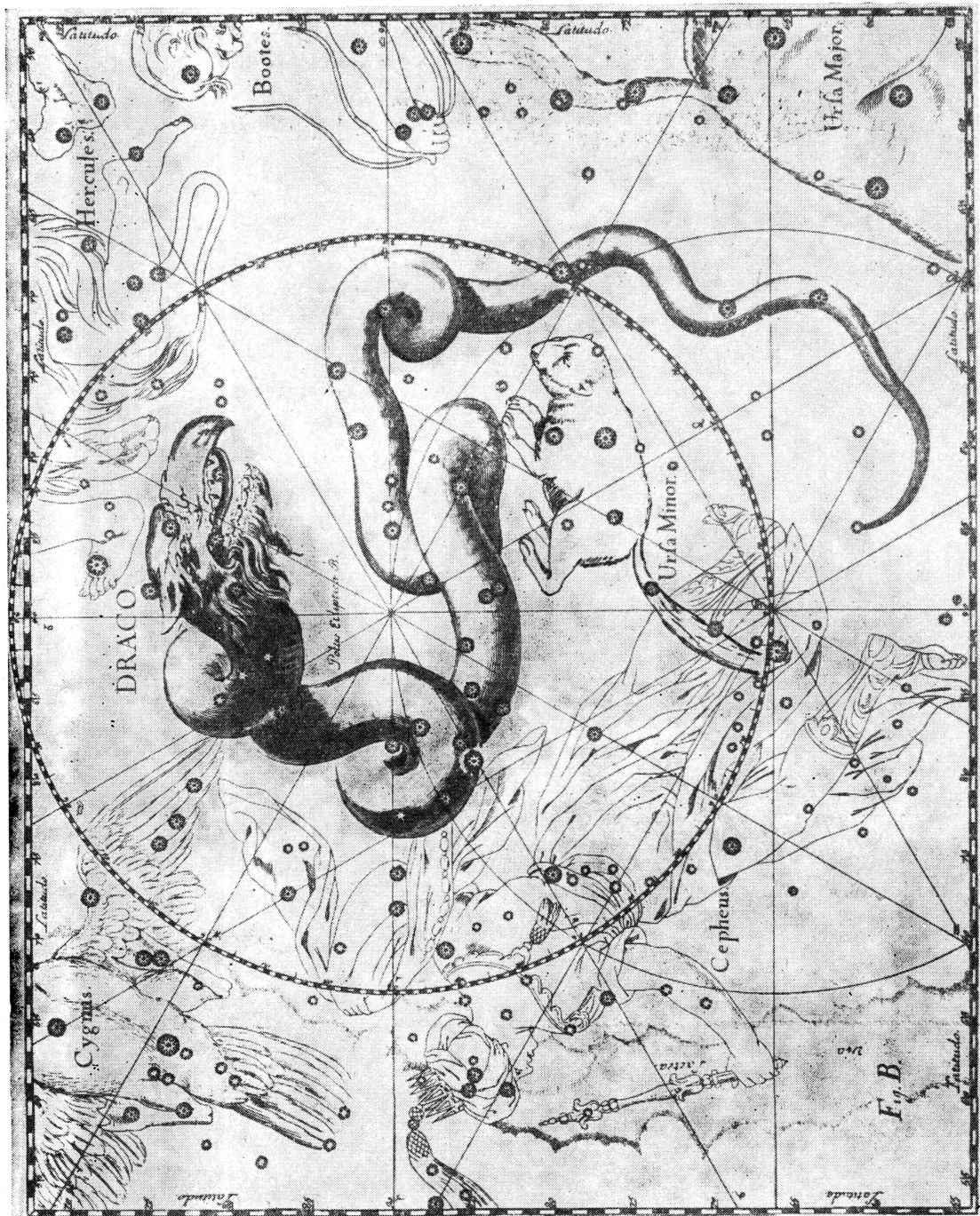
По греческой мифологии, Малая Медведица была служанкой Каллисто, увековеченной Зевсом в созвездии Большой Медведицы. Верная служанка сопровождает госпожу в ее вечном странствии. Созвездие Дракона древние греки отождествляли с чудовищем, которое стережет дивное дерево с золотыми яблоками. За этими яблоками отправляется Геркулес. Великан Атлас усыпляет дракона и Геркулес срывает яблоки.

В созвездии Малой Медведицы находится Северный полюс мира. Звезда α Малой Медведицы из-за близости к полюсу мира называется Полярной. Северный полюс мира не всегда располагался около этой звезды. В результате прецессии оси вращения Земли он перемещается с периодом 26 000 лет почти по замкнутому малому кругу небесной сферы с радиусом $23^\circ27'$. Центром этого круга является северный полюс эклиптики, координаты которого: $\alpha = 18^{\text{ч}}00^{\text{м}}0$; $\delta = +66^\circ33'$. Около 3000 лет назад полюс мира находился около звезды β Малой Медведицы — Кохаб (по-арабски — «звезда Севера»). Китайцы называют эту звезду «царственной звездой». Немногим более 4000 лет назад Северный полюс мира был

очень близок к звезде α Дракона, видимая звездная величина которой $3^{\text{м}}.6$. Через 12 000 лет «полярной звездой» будет α Лир — звезда Вега.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ. Полярная звезда относится к классу цефеид с периодом 3,97 суток. Видимая звездная величина ее изменяется от $2^{\text{м}}.1$ до $2^{\text{м}}.3$. Полярная — визуально-двойная звезда, компонент которой ($8^{\text{м}}.9$) находится на угловом расстоянии $18''.42$. Главный компонент — звезда сверхгигант, диаметр ее в 120 раз больше диаметра Солнца, температура поверхности 7000° . Расстояние до Полярной звезды около 472 световых лет.

В созвездии Дракона насчитывается до 70 переменных звезд. R Дракона — переменная типа Миры Кита. Координаты звезды: $\alpha = 16^{\text{ч}}32^{\text{м}}.5$ и $\delta = +66^\circ51'$; видимая звездная величина ее колеблется между $6^{\text{м}}.9$ и $13^{\text{м}}.0$ с периодом в 246 суток. Бли-



КАРТА СОЗВЕЗДИЙ МАЛОЙ МЕДВЕДИЦЫ И ДРАКОНА из «Атласа звездного неба» Яна Гевелия

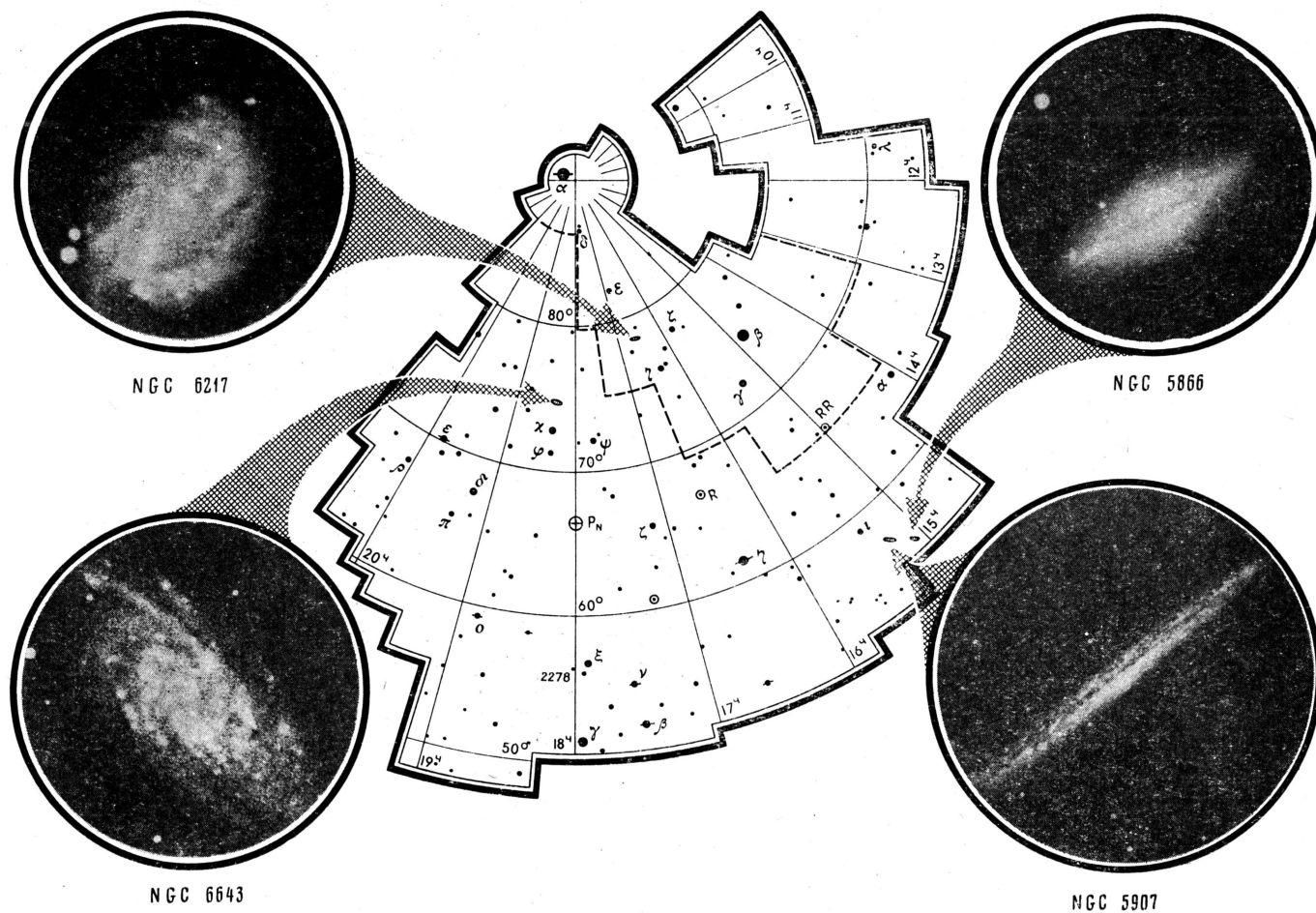
жайший максимум блеска был 8 мая 1969 г.

γ Дракона ($\alpha = 17^{\text{h}}31^{\text{m}}.3$; $\delta = +55^{\circ}12'$) — двойная система с компонентами $5^{\text{m}}.0$ и $5^{\text{m}}.0$, угловое расстояние между которыми

$61''.9$. Эту двойную звезду легко наблюдать в бинокли.

Звезда Σ 2278 ($\alpha = 18^{\text{h}}02^{\text{m}}.0$; $\delta = +56^{\circ}25'$) — тройная система. Видимые звездные величины компонентов: $7^{\text{m}}.1$, $7^{\text{m}}.5$ и $8^{\text{m}}.1$.

Угловое расстояние между первым и вторым компонентами равно $36''.94$, а между вторым и третьим — $6''.1$. Система хорошо наблюдается в телескоп с диаметром 80 мм и увеличением 50%.



СОЗВЕЗДИЯ МАЛОЙ МЕДВЕДИЦЫ И ДРАКОНА, а также интересные объекты в них

ГАЛАКТИКИ. В созвездии Малой Медведицы можно наблюдать в телескоп с диаметром 80 мм и увеличением 50 галактику NGC 6217, фотографическая звездная величина которой $11^m,8$, видимый угловой размер $1',8 \times 1',2$. Координаты галактики: $\alpha = 16^h 34^m,9$ и $\delta = +78^\circ 18'$.

Созвездие Дракона богаче интересными галактиками. Спиральная галактика NGC 5866 ($\alpha = 15^h 05^m,1$; $\delta = +55^\circ 57'$) имеет фотографическую звездную величину $10^m,9$ и видимый размер $3',0 \times 1',0$. Галактика наблюдается в телескопы с диаметром 55 мм и увеличением 20, а ее центральная конденсация — в трубы с диаметром 95 и увеличением 45.

Другую спиральную галактику — NGC 5907 ($\alpha = 15^h 14^m,6$; $\delta = +56^\circ 31'$) с видимой звездной величиной $10^m,4$ и видимым угловым размером $11',0 \times 0',6$ можно наблюдать в трубы с диаметром 55 мм и увеличением 20.

Галактика видна почти с ребра.

И еще одну спиральную галактику — NGC 6643 — можно наблюдать в телескопы с диаметром 80 мм и увеличением 18. Видимая звездная величина этой галактики $11^m,4$, видимые угловые размеры — $3,0 \times 1',1$. Координаты ее: $\alpha = 18^h 21^m,2$; $\delta = +74^\circ 33'$.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ. В созвездии Дракона находится планетарная туманность NGC 6543. Ее координаты: $\alpha = 17^h 58^m,6$; $\delta = +66^\circ 38'$; фотографическая звездная величина $8^m,8$, а угловые размеры $22'' \times 16''$. Эта туманность хорошо видна в школьные телескопы. Рядом с этой туманностью, на расстоянии $10'$ от нее, расположен северный полюс эклиптики.

А. Д. МАРЛЕНСКИЙ
доцент

В. Ф. ЗАВОЛОТНЫЙ

ЯРКИЕ ПЛАНЕТЫ В СЕНТЯБРЕ — ОКТЯБРЕ 1969 ГОДА

Меркурий можно видеть в октябре перед восходом Солнца. Максимальный блеск планеты — $0^m,9$.

Венера в сентябре — октябре хорошо видна утром перед восходом Солнца в созвездии Девы (примерный блеск планеты — $4^m,0$).

Марс в сентябре — октябре можно видеть вечером в южных районах страны в созвездии Стрельца (блеск планеты постепенно ослабевает до нулевой звездной величины).

Юпитер можно видеть в последней неделе октября перед восходом Солнца недалеко от звезды Спика (α Девы). Блеск планеты — $1^m,2$. (Таким образом в конце октября в созвездии Девы окажутся Венера, Юпитер и Меркурий. Все эти планеты можно будет наблюдать перед восходом Солнца.)

Сатурн хорошо виден в сентябре — октябре всю ночь в созвездии Овна. Блеск планеты постепенно возрастает примерно до нулевой звездной величины.



Луна, уменьшенная в миллион раз

Карты Луны, содержащие многообразную информацию о ее поверхности, могут быть с успехом использованы не только астрономами, но и учеными других специальностей. Например, геологи, которые в последние годы все более настойчиво занимаются вопросами строения лунной поверхности, проявляют к карте Луны особый интерес.

Карты Луны создаются на основе фотографий, получаемых наземными телескопами и космическими аппаратами, ведущими съемку вблизи лунной поверхности. Как известно, лучшие наземные инструменты обеспечива-

ют разрешение деталей от 5 до 0,7 км в центре лунного диска в зависимости от состояния атмосферы при наблюдениях. Подобные снимки и визуальные наблюдения позволяют составить карту Луны в масштабе $1:1\,000\,000$. Снимки, получаемые космическими аппаратами, служат фотографическим материалом для карт более крупного масштаба.

Серии карт Луны масштаба $1:1\,000\,000$ были изданы в 1960—1968 гг. в США и в 1968 г. в СССР. Внешнее оформление карт, выпущенных в Советском Союзе, сохранено таким же, как и у карт, изданных в США, с тем

расчетом, что в будущем такое оформление явится международным стандартом лунных картографических изданий.

Карта Луны*, вышедшая в СССР, охватывает экваториаль-

* «Карта Луны, экваториальная зона видимого полушария» на семи листах, масштаб $1:1\,000\,000$. Карта составлена Государственным астрономическим институтом имени П. К. Штернберга и Центральным научно-исследовательским институтом геодезии, аэрофотосъемки и картографии. Научный руководитель — доктор физико-математических наук Ю. Н. Липский.

ную зону видимого полушария от 8° с. ш. до 8° ю. ш. и от 70° з. д. до 70° в. д. Карта составлена в цилиндрической проекции Мер-

катора. В прямых цилиндрических проекциях отсутствуют искажения углов, а искажения масштабов зависят только от широ-

ты. Поэтому образования, изображенные на карте, практически сохраняют свою действительную форму. Кроме того, линии

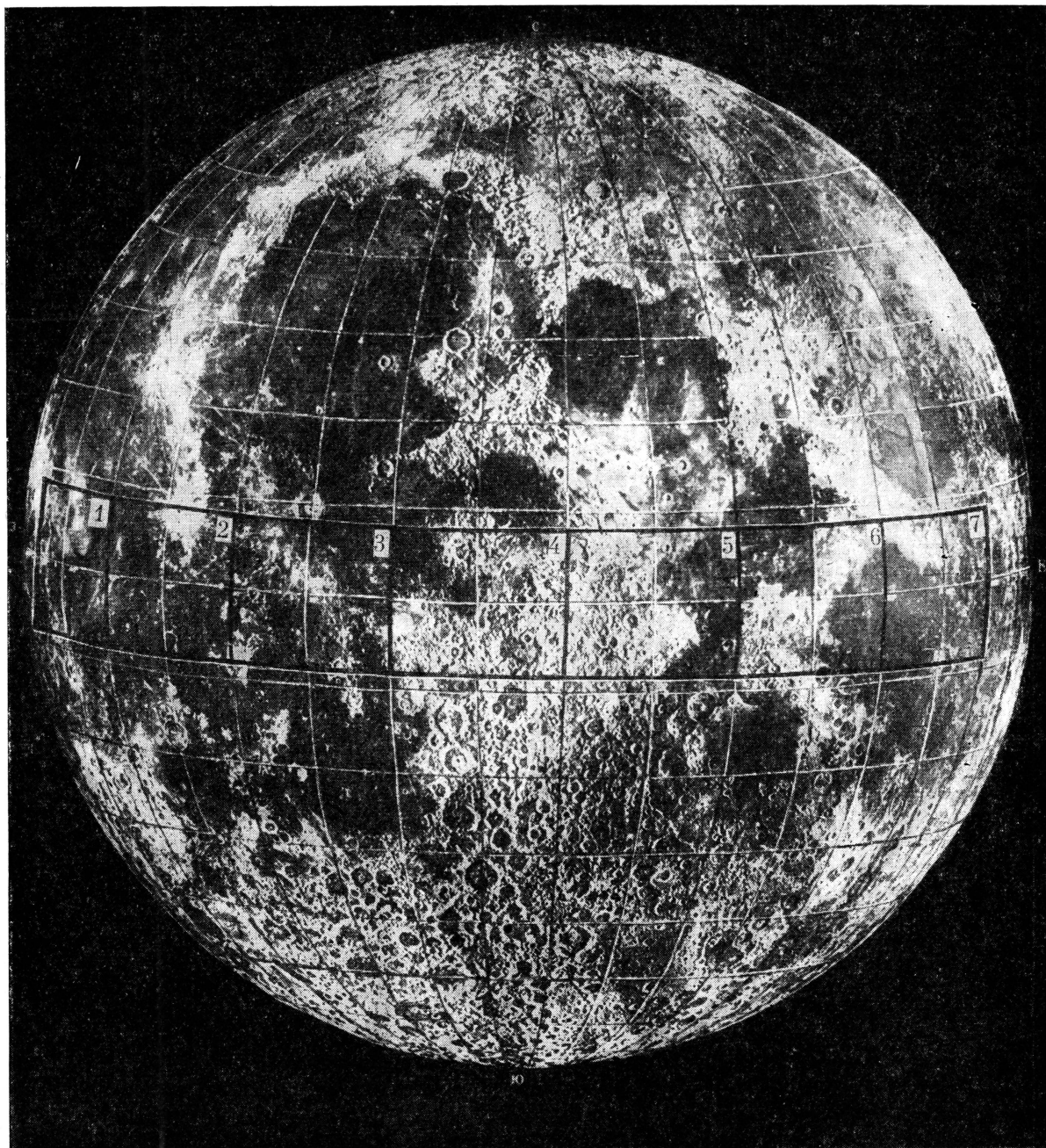


СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ семи листов «Карты экваториальной зоны видимого полушария Луны»

на поверхности шара, пересекающиеся с меридианами под равными углами, изображаются в проекции Меркатора прямыми, что весьма упрощает различные геометрические построения.

Математической основой этой карты Луны служит система опорных пунктов, созданная в 1965 г. сотрудниками Главной астрономической обсерватории АН УССР (Голосеево). Точность положения деталей для опорных пунктов в среднем составляет 8' по долготе и 3' по широте. На карте показаны абсолютные высоты кратеров, приводимые по Каталогу ГАО АН УССР, и их глубины.

Рельеф лунной поверхности на карте изображен полутоновым рисунком. При составлении карты предполагалось, что поверхность Луны освещена солнечными лучами, падающими под углом 60° к нормали. Таким образом удалось передать все многообразие лунного ландшафта. Путем изменения насыщенности теней и полутонов были выделены основные особенности лунных кратеров: малая по сравнению с диаметром глубина; обычно меньшая глубины кратера — высота его

вала; большая крутизна внутреннего склона вала, чем внешнего, и т. д. Удалось показать и различный характер дна лунных кратеров. У одних кратеров наблюдаются центральные горки, у других — дно залито лавой. Отчетливо видны на карте лучевые системы кратеров, борозды и трещины, складчатые жилы и кратерные цепочки. Чтобы добиться этого, пришлось допустить некоторую условность в изображении рельефа. Как известно, светлые лучи хорошо видны только в условиях, близких к полнолуннию, а борозды, трещины, пологие вала в морских областях можно различить лишь вблизи терминатора. Эти крайние случаи освещения и были искусственно совмещены на карте. Так удалось достичь наглядности в изображении рельефа, гораздо более высокой, чем на фотографии, полученной при каком-либо одном условии освещения.

Различные тоновые оттенки выделяют лунные области, не одинаковые по альбедо и, прежде всего, морские и материковые районы. Но внутри морей существуют многочисленные «прожилки» и «островки», более яр-

кие или более темные, чем окружающая поверхность. Эти особенности также показаны на карте. Цветовая гамма для карты выбиралась с учетом естественного цвета лунной поверхности (несколько серо-буроватого оттенка) и с целью наибольшей выразительности ее деталей. В успешном решении задачи большая заслуга принадлежит коллективу художников ЦНИИГАиК и издателям, создавшим своеобразное произведение картографического искусства.

Номенклатура лунных наименований, принятая на карте, соответствует решениям V, XI, XII Генеральных ассамблей Международного астрономического союза. Русская транскрипция дана по Каталогу лунных наименований, подготовленному Государственным астрономическим институтом имени П. К. Штернберга. Для основных деталей лунного ландшафта кроме русских наименований приведены латинские.

Новая карта Луны будет интересна и специалистам, и астрономам-любителям.

Ж. Ф. РОДИОНОВА

Орган секции физико-технических и математических наук
Президиума Академии наук СССР
и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

Научно-популярный журнал
«ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук И. А. ХВОСТИКОВ
Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН
Кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, доктор техн. наук
А. А. ИЗOTOV, кандидат физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, кандидат
физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦ-
КИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук
Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, кандидат физ.-мат. наук
И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, док-
тор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук
В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор
техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

При перепечатке ссылка на журнал «Земля и Вселенная» обязательна

2-я типография издательства «Наука», Москва, Г-99, Шубинский пер., 10



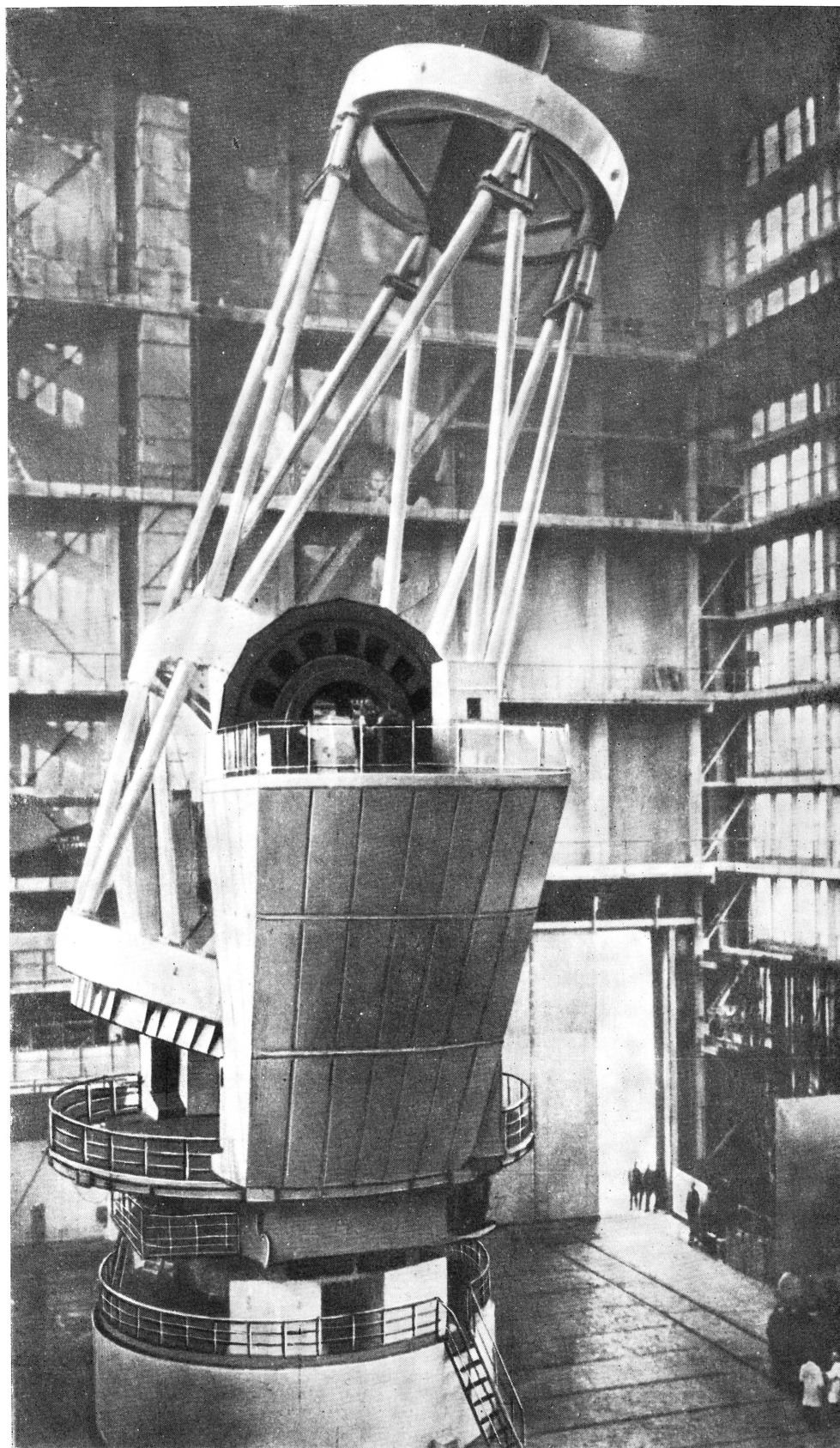
Адрес редакции:
Москва, В-333,
Ленинский пр., д. 61/1

Тел. 135-64-81
135-63-08

Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

Корректоры: А. М. Балунова,
Г. Н. Нелидова

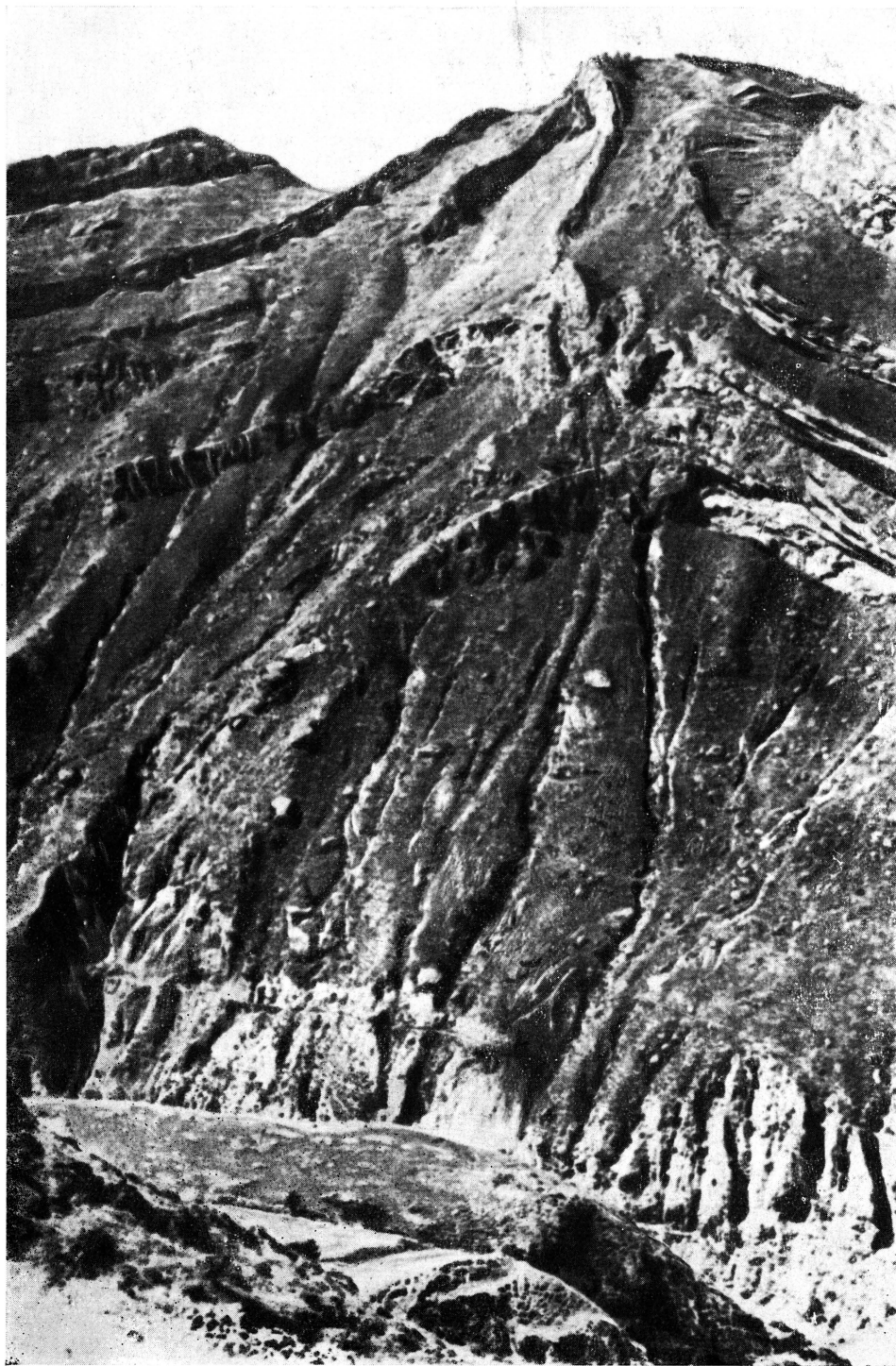
Т-09667 Сдано в набор 30/IV 1969 г.
Подписано в печать 14/VII 1969 г.
Формат бум. 84×108¹/₁₆.
Печ. л. 6,0 (10,08) + 2 вклейки
Уч.-изд. л. 10,2. Тираж 38.000 экз.
Заказ 2197 Цена 30 коп.



Крупнейший в мире
6-метровый телескоп в
цехе завода (к ст.
Н. Н. Михельсона)

Индекс 70336

Цена 30 коп.



Издательство



«Наука»